



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SIMULÁTOR VÝROBNÍCH LINEK

SIMULATOR OF PRODUCTION LINES

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Viták

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pásek, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Jan Viták

ID: 146993

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/2016

NÁZEV TÉMATU:

Simulátor výrobních linek

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem diplomové práce je návrh prostředí pro simulace výrobních linek se zaměřením na testování řídicího programu PLC SIMATIC S7.

1. Provedte literární řešení nástrojů pro simulaci výrobních linek.
2. Navrhněte koncepci simulátoru vhodného pro testování výrobních linek.
3. Realizujte programové prostředí simulátoru vhodné pro testování dopravníkových výrobních linek.
4. Otestujte vytvořený simulátor demonstrací na konkrétní aplikaci.
5. Zhodnoťte možnosti vytvořeného nástroje z hlediska univerzality a možnosti jeho nasazení na ladění reálných řídicích programů výrobních linek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. SIMIT Simulation Framework / SIMIT Virtual Controller. Siemens [online]. 2015
2. Tecnomatix #1: Co je digitální továrna? Konstrukter.cz [online]. 2012
3. SIMATIC: Engineering tools S7ProSim V5.4 [online]. 2011.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 16.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce Simulátor výrobních linek je navrhnout koncept simulátoru dopravníkových výrobních linek se zaměřením na testování řídicího programu PLC a tento simulátor realizovat. V práci je uveden popis hotových řešení dostupných na trhu, popis testovaného řídicího algoritmu PLC, navrhovaný koncept simulátoru, popis vytvořeného programu, ukázka jeho použití na konkrétní aplikaci a zhodnocení jeho možností.

Klíčová slova

simulátor, dopravníková výrobní linka, emulace PLC, virtuální zprovoznění, Průmysl 4.0

Abstract

The aim of this master's thesis Simulator of Production Lines is to design a concept of the simulator of conveyor production lines with focus on testing control software for PLC and to implement this simulator. The thesis includes description of ready to use solutions available on the market, description of PLC control algorithm to be tested, designed concept of the simulator, description of the implemented software, demonstration of the simulator on a specific task and evaluation of its capabilities.

Keywords

simulator, conveyor production line, PLC emulation, virtual commissioning, Industry 4.0

Bibliografická citace:

VITÁK, J. *Simulátor výrobních linek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pásek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Simulátor výrobních linek jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **16. května 2016**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Páskovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Rovněž děkuji firmě ice - industrial services a.s., která mi umožnila vypracování této diplomové práce. Jmenovitě bych rád poděkoval Ing. Petru Študentovi za jeho vedení a odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **16. května 2016**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	11
1.1	Virtuální zprovoznění	11
1.1.1	Virtuální zprovoznění jako součást Průmyslu 4.0	12
2	Dostupné simulační nástroje	14
2.1	Digitální továrna Tecnomatix	14
2.1.1	Součásti Tecnomatix	14
2.1.2	Komponenta Process Simulate	18
2.2	Simulační nástroj SIMIT 8	18
2.2.1	Varianty SIMIT 8	19
2.2.2	Komunikace s PLC	20
2.3	Důvody vlastní realizace	21
3	Řídicí algoritmus PLC	22
3.1	Válečkový dopravník	22
3.2	Rozhraní mezi dopravníky	23
3.2.1	Základní signály	23
3.2.2	Popis předávky materiálu	23
3.2.3	Přerušení předávky	24
3.2.4	Zpětná předávka	25
3.2.5	Doplňující signály	25
3.2.6	Trasování informací	25
4	Navrhované řešení	26
4.1	Koncept simulátoru	26
4.1.1	Simulace s emulovaným PLC	26
4.1.2	Simulace s fyzickým PLC	26
4.2	Vhodné prostředky	27
4.2.1	S7-PLCSim	27
4.2.2	Objekty COM	28
4.2.3	S7ProSim	28
4.2.4	NetToPLCSim	30
4.2.5	LIBNODEAVE	31
4.2.6	OPC	32
5	Realizace	34
5.1	Komunikace mezi PC a PLC	34

5.1.1	Fyzické PLC.....	34
5.1.2	Emulované PLC	35
5.1.3	Komunikační rozhraní.....	35
5.2	Popis programu	36
5.2.1	Grafické uživatelské rozhraní.....	36
5.2.2	Ukázky kódu	39
5.3	Obsluha programu	42
5.3.1	Příprava spojení s fyzickým PLC.....	42
5.3.2	Příprava spojení s emulovaným PLC	44
5.3.3	Navázání spojení a spuštění simulace	46
5.4	Ukázka použití	47
5.5	Vyhodnocení výsledků.....	49
6	Obsah přiloženého CD	50
6.1	Adresářová struktura CD.....	50
7	Závěr.....	51

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Pravidlo 1:10:100 [5]	12
Obr. 2.1 Ukázka z Process Designer [6]	15
Obr. 2.2 Ukázka z PS Assembly [6]	16
Obr. 2.3 Ukázka z PS Robotics [6]	16
Obr. 2.4 Ukázka z PS Human [6].....	17
Obr. 3.1 Válečkový dopravník	22
Obr. 3.2 Logická závislost předávky při přesunu z dopravníku na dopravník B [12]	24
Obr. 3.3 Logická závislost při přerušení předávky [12].....	24
Obr. 4.1 Ukázka z prostředí S7-PLCSIM	28
Obr. 4.2 Přehledové schéma využití NetToPLCSim [9]	30
Obr. 4.3 Uživatelské rozhraní NetToPLCSim	31
Obr. 4.4 Zapouzdření PDU v protokolech [11].....	32
Obr. 4.5 Ukázka využití OPC [10].....	33
Obr. 5.1 Komunikační schéma s fyzickým PLC	35
Obr. 5.2 Komunikační schéma s emulovaným PLC	35
Obr. 5.3 Grafické uživatelské rozhraní při spuštění programu	36
Obr. 5.4 Grafické uživatelské rozhraní programu za běhu simulace	37
Obr. 5.5 Výřez z hlavního okna s vizualizací	37
Obr. 5.6 Chybové okno při špatné IP	38
Obr. 5.7 Chybové okno při ztrátě spojení	38
Obr. 5.8 Prostředí NetPro bez konfigurace	42
Obr. 5.9 Konfigurace rozhraní ethernet	43
Obr. 5.10 Prostředí NetPro s vytvořenou konfigurací.....	44
Obr. 5.11 NetToPLCSim získání portu 102.....	45
Obr. 5.12 NetToPLCSim přidání instance S7-PLCSim	45
Obr. 5.13 NetToPLCSim s hotovou konfigurací.....	46
Obr. 5.14 Ovládací panel „Controls“	47
Obr. 5.15 Ovládací panel pro pozice.....	47
Obr. 5.16 Testování předávky, stav 1	48
Obr. 5.17 Testování předávky, stav 2	48
Obr. 5.18 Testování předávky, řídicí algoritmus	49

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Varianty SIMIT 8 (převzato a upraveno z [1] a [2]).....	20
Tab. 4.1 Metody S7ProSim COM (převzato a upraveno z [7])	30

1 ÚVOD

Účelem této diplomové práce je navrhnout simulátor vhodný pro testování dopravníkových výrobních linek a toto řešení realizovat. Simulátor bude vytvořen za účelem otestování funkčnosti řídicího programu pro PLC SIMATIC S7.

Přínosem tohoto simulátoru bude zobrazení přehledu dopravníkové linky a možnost uvedení dopravníkové linky do libovolného stavu. Primárním účelem simulátoru bude otestování korektnosti předávky materiálu v nově vyvíjeném systému pro řízení dopravníkových linek.

Dosavadní řešení simulace je realizováno prostřednictvím modifikace řídicího programu pro PLC v podobě funkcí, které simulují pohyb materiálu po lince a vyžadují zadávání změn od programátora za běhu programu.

Důsledkem nasazení tohoto simulátoru při testování bude získání lepšího přehledu o stavu linky a zmenšení vlivu lidské chyby, a to bez zásahu do řídicího programu pro PLC.

V následující podkapitole je představena problematika virtuálního zprovoznění¹, do níž spadá i vytváření simulátor dopravníkových linek.

Druhá kapitola vytváří přehled nabízených řešení na trhu, uvádí jejich přednosti a nevýhody a diskutuje možnosti jejich použití s ohledem na požadavky.

Ve třetí kapitole je čtenář seznámen s algoritmem pro řízení PLC, resp. s algoritmem předávky materiálu ve vyvíjeném dopravníkovém systému.

Navrhované řešení simulace je prezentováno ve čtvrté kapitole. Nejprve je představen koncept simulátoru a následně je uveden popis vhodných dostupných prostředků, které lze využít pro simulaci.

Kapitola 5 se zabývá popisem vytvořeného simulátoru, ukázkou jeho použití a nabízí zhodnocení dosažených výsledků a možností použití vytvořeného simulátoru.

Předposlední kapitole vytváří přehled o obsahu přiloženého CD.

V poslední kapitole je uvedeno shrnutí řešení této práce.

1.1 Virtuální zprovoznění

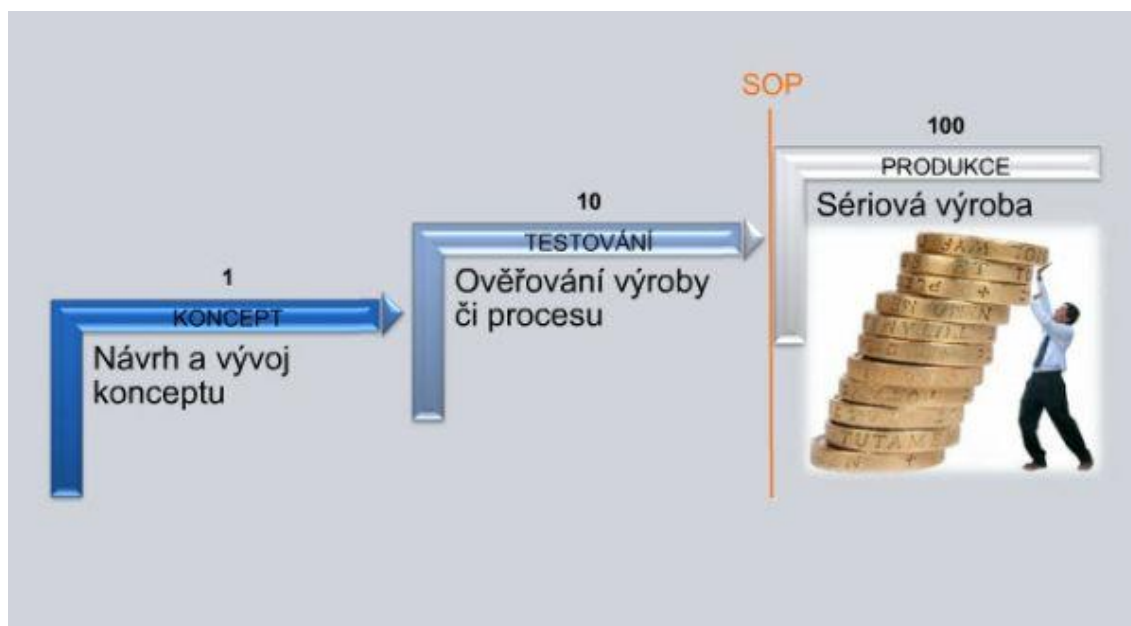
Podle současného vývoje automatizovaného průmyslu lze usuzovat, že postupně dochází k přechodu od hromadné sériové výroby k hromadné výrobě složitých výrobků s velkou variabilitou. Mimo to je neustále požadavek na navyšování kapacity současných výrobních linek. To má za následek zvyšování komplexnosti automatizovaných průmyslových linek.

Dalším znatelným jevem jsou zkracující se termíny projektů pro návrh, implementaci a zprovoznění průmyslových linek.

Tyto dva aspekty mají za následek zvýšené riziko výskytu chyb ať už ve fázi návrhu, nebo implementace. Tyto chyby se pak mohou projevit až ve fázi zprovoznění. Chyby

¹ Zprovoznění v současné terminologii nahrazuje sousloví „uvádění do provozu“

mohou být různé druhy od mechanických, přes elektrické, nebo programové, až po koncepční. Zde stojí za zmínku ilustrace na Obr. 1.1 o velikosti nákladů, které jsou spojené se změnami v projektu v různých fázích vývoje.



Obr. 1.1 Pravidlo 1:10:100 [5]

Podle případových studií se změna výrobního plánu při fázi testování a ověřování projeví desetinásobně oproti změně provedené ve fázi návrhu a vývoje konceptu. Při provedení změny až v průběhu produkce se tato projeví až stonásobně oproti změně ve fázi konceptu. Tento jev bývá označován jako *pravidlo 1:10:100*.

Virtuální zprovoznění, též Virtual Commissioning (angl.) nebo Virtuelle Inbetriebnahme (něm.), představuje způsob, jak lze předcházet výše zmíněným problémům a efektivně je řešit v počátečních fázích projektu. Princip spočívá v ověření navrhovaného konceptu pomocí simulace. Vytvořením digitální podoby zařízení nebo celé linky lze ověřit nejen mechanické vlastnosti, ale po přidání motorů, senzorů a dalších prvků lze současně ověřit i elektrické vlastnosti. Pomocí nástrojů popsanych v následující kapitole lze pak připojit emulované nebo fyzické PLC pro otestování programu na vytvořené virtuální lince. Do procesu simulace je možné zapojit i další fyzická zařízení jako jsou motory, HMI, roboti, senzory a další.

1.1.1 Virtuální zprovoznění jako součást Průmyslu 4.0

Dosavadní tři průmyslové revoluce byly vyvolány zejména rozmachem zařízení poháněných párou, zavedením hromadné výroby s využitím elektřiny a využitím výpočetních systémů a robotů ve výrobě. 4. průmyslová revoluce, též Průmysl 4.0, Industry 4.0 (angl.) nebo Industrie 4.0 (něm.), si klade za cíl transformaci výroby ze samostatných automatizovaných jednotek na plně integrovaná automatizovaná pracoviště a vytvořit tak kyberneticko-fyzikální systémy (CPS).

Iniciativa Průmysl 4.0 byla vyvolána zejména dynamickým rozmachem automatizace diskrétní výroby, tedy digitalizace a variability výrobků a s tím souvisejícím množstvím dat. Dopravníkové výrobní linky, u kterých se to hemžilo lidmi, byly dosud ve stínu automatizace spojitě a dávkové výroby. Situace se obrací a v tom je hlavní vize revoluce průmyslové automatizace.

Virtuální zprovoznění představuje jeden z 6 základních principů Průmyslu 4.0, kterým je virtualizace. Ta představuje schopnost propojování fyzických systému s virtuálními modely a simulačními nástroji.

Zde je uvedeno všech 6 základních principů Průmyslu 4.0 podle [13]:

- a) **Interoperabilita** – schopnost CPS, lidí a všech komponent inteligentního výrobního podniku spolu komunikovat prostřednictvím IoT (internetu věcí) a IoS (internetu služeb).
- b) **Virtualizace** – schopnost propojování fyzických systémů s virtuálními modely a simulačními nástroji.
- c) **Decentralizace** – rozhodování a řízení probíhá paralelně a autonomně v jednotlivých subsystémech.
- d) **Schopnost pracovat v reálném čase** – dodržení požadavku reálného času je klíčovou podmínkou pro libovolnou komunikaci, rozhodování a řízení v systémech reálného světa.
- e) **Orientace na služby** – preference výpočetní filozofie nabízení a využívání standardních služeb, to vede na architektury typu SOA (Service Oriented Architecture).
- f) **Modularita a rekonfigurabilita** – systémy Průmyslu 4.0 by měly být maximálně modulární a schopny autonomní rekonfigurace na základě automatického rozpoznání, event. predikce situace.

Více informací o Průmyslu 4.0 lze získat z dokumentu Národní iniciativa Průmysl 4.0, který je k dispozici zde [14].

2 DOSTUPNÉ SIMULAČNÍ NÁSTROJE

Tato kapitola má za úkol seznámit čtenáře s hotovými řešeními virtuálního zprovoznění, která byla v době psaní této práce dostupná na trhu. V rámci rešerše byly vybrány dva nástroje – digitální továrna Tecnomatix a simulační nástroj SIMIT, obojí z produkce společnosti Siemens. Pro oba nástroje je zde uveden stručný popis jejich součástí, představení jejich funkcí a případných omezení a způsob jejich využití při simulacích výrobních linek.

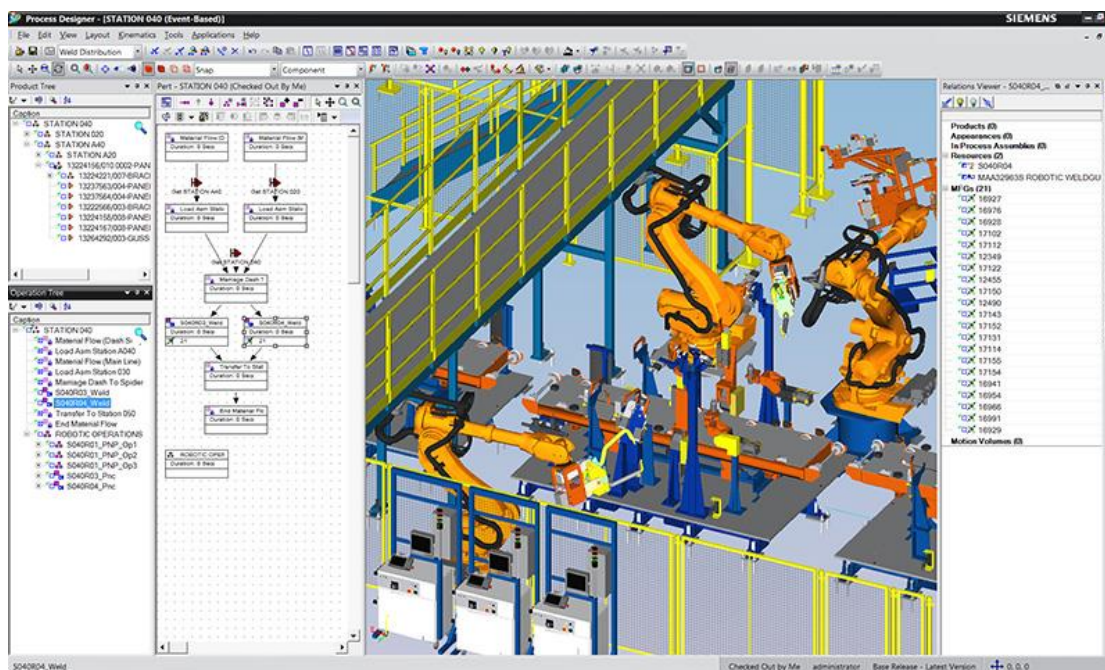
2.1 Digitální továrna Tecnomatix

Tecnomatix tvoří komplexní portfolio aplikací určených pro výrobní firmy, které umožňuje provázání inženýrských a výrobních činností. Tyto činnosti jsou z oblastí plánování layoutu, procesní simulace, ověřování řešení a jejich optimalizace. Jedná se o produkt společnosti Siemens PLM, který je nabízen ve spojení s tzv. digitální továrnou. Pod tímto pojmem si lze představit souhrn informací, které lze získat využitím nástrojů během plánování a verifikace procesů a prostředků zahrnutých ve výrobě.

2.1.1 Součásti Tecnomatix

Jednotlivé nástroje, které jsou součástí digitální továrny Tecnomatix, lze rozdělit do tří kategorií. První kategorií je skupina aplikací určených pro datové propojení a hrubé plánování při návrhu továrny. Patří sem Process Designer a TCM Process Planner.

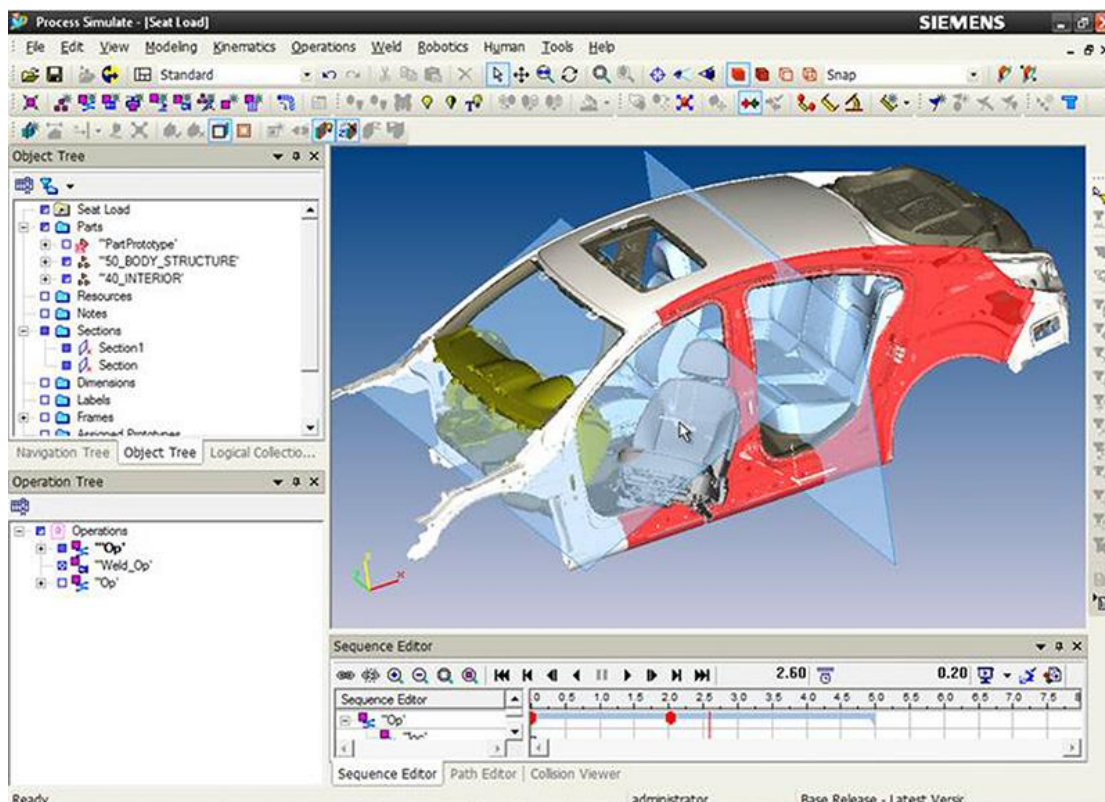
Process Designer a TCM (Team Center Manufacturing) Process Planner jsou nástroje určené pro vytvoření návrhu technologických procesů. Umožňují efektivně spolupracovat a koordinovat návrh výroby. Technologům poskytují funkci pro vytvoření kompletního 3D layoutu. Pro určení návaznosti procesů v průběhu výroby využívají tyto aplikace Gantt a Pert diagramy. Celá tvorba návrhu je postavena na principu: „Co? Čím? A jak?“. Tedy, co se bude vyrábět, čím se to bude vyrábět a v jakých procesech k tomu dojde. Mezi další přednosti patří možnost časových analýz jednotlivých procesů, tvorba návodů a také balancování linek.



Obr. 2.1 Ukázka z Process Designer [6]

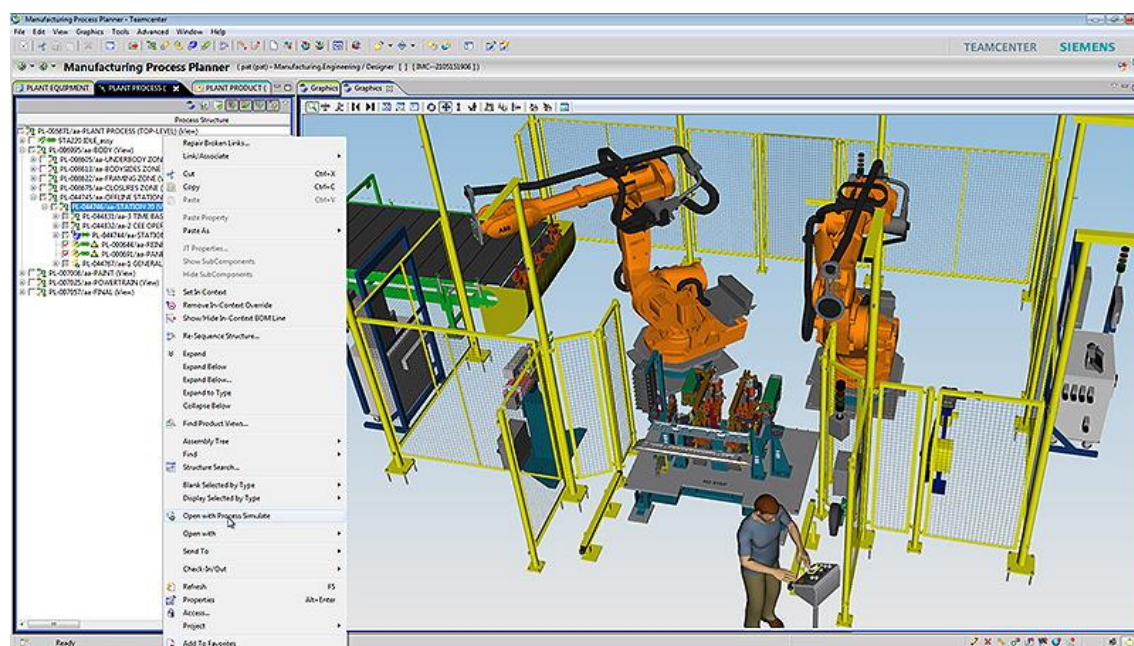
Druhá skupina nástrojů je určena pro tvorbu simulací a detailní plánování. Patří sem Process Simulate Assembly, Process Simulate Robotics a Process Simulate Human.

PS Assembly slouží pro simulace a verifikace výrobních procesů. Využívá naplánovaných dat z nástrojů v první skupině k jejich ověření a vytvoření simulací. Umožňuje analýzy montážních postupů a detekci kolizí při montážích.



Obr. 2.2 Ukázka z PS Assembly [6]

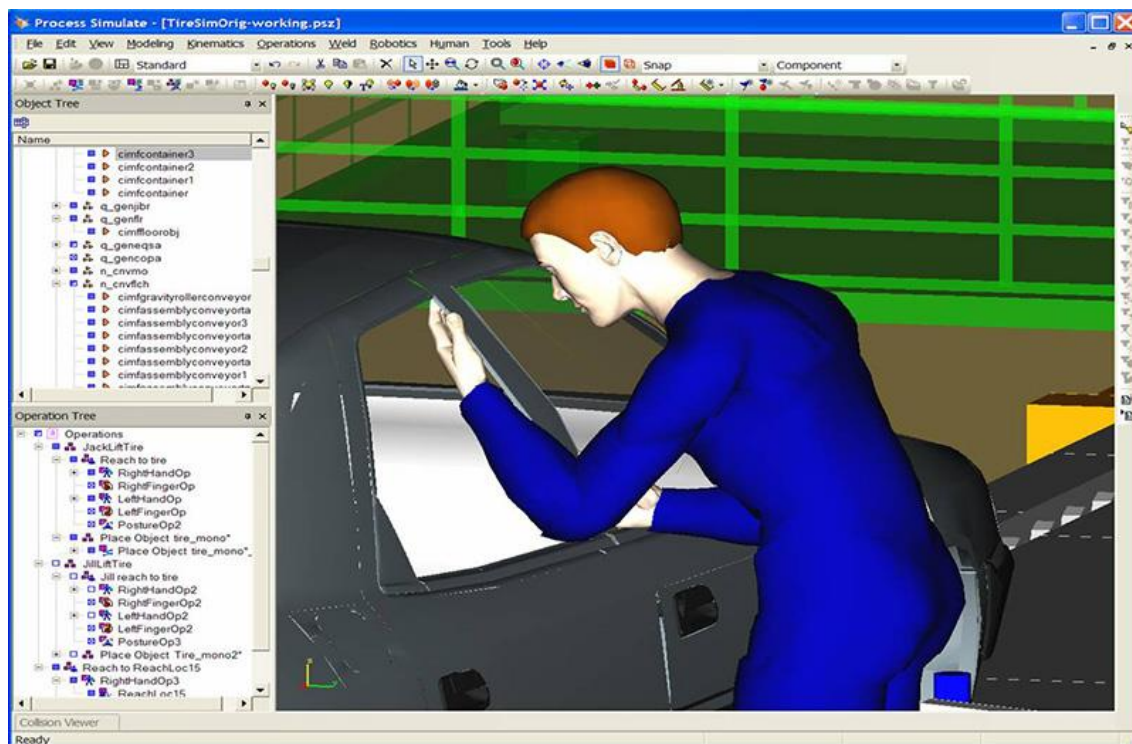
PS Robotics je nástrojem určeným pro ověřování robotických operací, jako jsou lakování, svařování a další. Při tomto ověřování lze zjišťovat statické a dynamické dosahy robotů a odhalit kolizní stavy. Další výhodou je možnost off-line programování robotů, což také zásadně přispívá ke zrychlení uvedení linky do provozu.



Obr. 2.3 Ukázka z PS Robotics [6]

Robcad představuje předchůdce PS Robotics a má podobné možnosti aplikace.

Posledním z této kategorie je PS Human, který se zabývá rolí člověka ve výrobě a ergonomií. Za pomoci tohoto nástroje lze provádět ergonomické analýzy, zkoumat proveditelnost manuálních operací při výrobě a sledovat zatížení pracovníků. Po provedení analýzy lze pracoviště lépe uzpůsobit pro pracovníky s ohledem na jejich běžné činnosti, zatížení částí těla a třeba i dosahy. Tímto nástrojem lze tak omezit výskyt nemocí z povolání a zvýšit efektivitu zapojení člověka v procesech.



Obr. 2.4 Ukázka z PS Human [6]

Ve třetí skupině jsou nástroje Factory CAD, Factory FLOW a Plant Simulation. Tyto nástroje jsou určeny pro optimalizaci procesů a layoutu továrny.

Factory CAD je program, který představuje nadstavbu pro známý AutoCAD. Slouží především k 3D modelování a projektování výrobních hal. Při práci s programem lze využít tzv. knihovnu chytrých objektů, která obsahuje objekty typické pro výrobní haly. Tím je tvorba layoutu výrazně zrychlena.

Factory FLOW stejně jako předchozí nástroj je nadstavbou pro AutoCAD a s jeho pomocí lze znázornit tok materiálu při výrobě. Umožňuje tak optimalizovat tok materiálu s ohledem na čas, náklady na transport a náklady na uskladnění.

Posledním nástrojem, který je součástí Tecnomatix, je Plant Simulation. Tento umožňuje tvorbu dynamických simulací a optimalizaci výroby. Při těchto simulacích lze pak zkoumat například utilizaci lidí a strojů, identifikovat úzká místa nebo hledat optimální transportní dávky. Tím lze efektivně dosáhnout zvýšení produkce za minimálních nákladů, jelikož tyto změny lze implementovat již při návrhu linky.

2.1.2 Komponenta Process Simulate

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, Process Simulate je nástrojem určeným pro vytváření simulací procesů a událostí ve výrobě. V prostředí Process Simulate lze vytvářet simulační 3D modely jednak jednotlivých strojů, jednak celých výrobních linek. Pro návrh modelů lze využít nástroje, které jsou součástí vývojového prostředí, nebo tyto modely lze importovat již vymodelované v některých z CAD nástrojů.

Simulaci lze provádět jen na samotném simulačním modelu nebo i se zapojením fyzických zařízení do procesu. Mohou to být roboti, fyzické PLC, senzory, motory, HMI a další komponenty, které se vyskytují na simulované lince.

Process Simulate umožňuje vytvoření detailního popisu sekvence operací na lince. Simulace je pak řízena událostmi na lince a signály. Ať už při vytváření digitálního modelu stávající linky, nebo návrhu nové linky, lze tento nástroj využít pro testování různých scénářů na lince, a tím předejít chybám v návrhu nebo optimalizovat stávající linku.

Při napojení na fyzické nebo emulované PLC lze otestovat funkčnost řídicího programu za pomoci namapování vstupů/výstupů na senzory, motory a další prvky přímo v simulaci.

Využití tohoto nástroje tedy nabízí kombinaci testování mechanických a elektrických částí linky v jedné platformě. Tím je možné výrazně zkrátit dobu nutnou na reálné zprovoznění na místě u zákazníka a odhalení chyb již ve fázi návrhu.

2.2 Simulační nástroj SIMIT 8

SIMIT je simulační nástroj od společnosti Siemens určený pro testování a virtuální uvádění do provozu programů pro PLC určených pro platformu SIMATIC. Hlavní předností tohoto softwaru je možnost vytváření real-time simulací vstupů/výstupů, zařízení (např. motorů) a procesů na výrobní lince. SIMIT tedy umožňuje odstraňování chyb v řídicím programu pro PLC díky testování na vytvořeném modelu výrobní linky, pro kterou je tento program určen, a to v pohodlí kanceláře vývojáře a bez rizik plynoucích z ladění programu na reálné lince u zákazníka. Výsledkem je úspora času a peněz vynaložených na projekt.

Součástí nástroje SIMIT je prostředí umožňující vizualizaci procesů na výrobní lince. Díky tomu je možné získat lepší přehled o stavu linky a probíhajících procesech. SIMIT také umožňuje zachycení tzv. „Snapshot“, tedy konkrétních stavů linky. Tyto je pak možné kdykoliv vyvolat. Tato funkcionality slouží nejen pro testování konkrétních částí programu, ale také ji využívá další přednost programu SIMIT, a tou je školení operátorů výrobní linky. Lze tak navodit různé krizové situace a provést školení obsluhy bez rizik plynoucích při školení na reálné lince.

2.2.1 Varianty SIMIT 8

Simulační nástroj SIMIT 8 je nabízen ve třech variantách: STANDARD, PROFESSIONAL a ULTIMATE.

Vyšší varianta vždy obsahuje funkcionality nižší varianty obohacené o další funkcionality. Všechny varianty obsahují základní knihovny SIMIT. Mezi tyto patří:

- SIMIT STANDARD: obsahuje simulační komponenty jako jsou aritmetické a booleanovské logické operátory.
- SIMIT SENSORS and DRIVES: obsahuje simulační komponenty pro běžně používané senzory a pohony.

Ke všem variantám je možné pořídit tyto doplňkové knihovny:

- SIMIT FLOWNET: obsahuje simulační komponenty určené pro simulaci procesů v prostředí chemického a ropného průmyslu (potrubí).
- SIMIT CONTEC: obsahuje simulační komponenty určené pro simulaci v prostředí výrobního a zpracovatelského průmyslu (dopravníkové linky).

Srovnání funkcionalit je zachyceno v Tab. 2.1.

Popis funkcionality	STANDARD	PROFESSIONAL	ULTIMATE
Základní knihovny	+	+	+
3D prohlížeč VRML ²	+	+	+
Rozhraní pro PROFIBUS DP, PROFINET IO a PRODAVE	+	+	+
Editor TME (Vizualizace vývoje signálů a zpráv)	+	+	+
Skriptovací prostředí	+	+	+
Editor pro vytváření maker MCE	+	+	+
Editor pro vytváření dynamické grafiky a animací DGE	+	+	+
Editor skriptů pro kontrolu simulační sekvence ACI	+	+	+
Automatická tvorba seznamu signálu z dat od SIMATIC Manager	+	+	+
Simulace Hardware-in-the-Loop ³	+	+	+
Prostředí pro spouštění komponent vyvinutých v SIMIT ULTIMATE	+	+	+
Rozhraní SIMATIC S7-PLCSIM a OPC	-	+	+
Úprava modelu za běhu simulace	-	+	+

² VRML – Virtual Reality Modelling Language.

³ „Hardware-in-the-Loop“ – označuje techniku simulace, při které je použito fyzické zařízení.

Automatická tvorba modelů podle importovaných PCS 7 souborů (IEA a CMT) a tabulek z Excelu	-	+	+
Zrychlení času v simulaci	-	+	+
Sdílená operační paměť pro komunikaci s programy třetích stran	-	-	+
Automatická tvorba modelů podle XML souborů	-	-	+
Editor pro tvorbu vlastních komponent a knihoven CTE	-	-	+

Tab. 2.1 Varianty SIMIT 8 (převzato a upraveno z [1] a [2])

2.2.2 Komunikace s PLC

SIMIT umožňuje provádění simulace jednak na fyzickém PLC, které bude později použito na fyzické výrobní lince, jednak na emulovaném PLC.

Pro komunikaci s programy třetích stran nebo jinými zařízeními nabízí SIMIT využití OPC⁴ nebo sdílené paměti.

2.2.2.1 Fyzické PLC

Informace uvedené v této podkapitole byly převzaty a upraveny z [3].

Simulace s fyzickým spojením s fyzickým PLC je výrobcem označována jako tzv. „Hardware-in-the-Loop“⁵. Uživatel má možnost vybrat si z několika rozhraní určených pro komunikaci s PLC. SIMIT podporuje komunikaci prostřednictvím PROFIBUS, PROFINET IO a PRODAVE (MPI).

Pro komunikaci prostřednictvím PROFIBUS je vyžadován přídatný modul SIMIT PROFIBUS DP GATEWAY (obj. č. 9AP1434) a komunikační modul IM-PBDP-2, IM-PBDP-4 nebo IM-PBDP-8 (obj. č. 9AP2440). Komunikační moduly také umožňují připojení dalších fyzických periférií pomocí PROFIBUSu. Podle vybraného typu je možné připojit 125 PROFIBUS slaves na jeden kanál.

Modul SIMIT PROFINET IO GATEWAY (obj. č. 9AP1434) a komunikační modul IM-PNIO-128 (obj. č. 9AP2431) nebo IM-PNIO-256 (obj. č. 9AP2430) jsou vyžadovány pro komunikaci prostřednictvím PROFINET IO.

Komunikace prostřednictvím PRODAVE vyžaduje modul PRODAVE GATEWAY (obj. č. 9AP1460).

2.2.2.2 Emulované PLC

Druhým způsobem, jak zajistit komunikaci s PLC, je jeho emulace. K dispozici jsou dva způsoby emulace reálného PLC.

⁴ Open Control Platform – označuje sérii standardů a specifikací určených pro průmyslovou komunikaci.

⁵ „Hardware-in-the-Loop“ – označuje techniku simulace, při které je použito fyzické zařízení.

Prvním a přímo dostupným způsobem je S7-PLCSIM. S7-PLCSIM je simulátor PLC, který je součástí vývojových prostředí STEP 7 a TIA Portal. Obě tato prostředí jsou určena pro práci s automaty rodiny SIMATIC od společnosti Siemens. Pro namapování simulovaných vstupů/výstupů stačí importovat tabulku symbolů. Simulátor S7-PLCSIM je podrobně popsán v kapitole 4.2.1.

Druhým způsobem, jak zprostředkovat komunikaci mezi prostředím SIMIT a PLC, je využití OPC serveru. Tento server pak může komunikovat s reálným PLC nebo s PLC emulovaným jinými prostředky.

SIMIT ve verzi ULTIMATE dále umožňuje vyčlenění části operační paměti a využít ji jako sdílenou paměť pro komunikaci s programy třetích stran.

2.3 Důvody vlastní realizace

Po provedení průzkumu dostupných používaných řešení, které jsou uvedena v předchozích podkapitolách, se postupně začalo přecházet k myšlence implementace vlastního simulátoru výrobních linek pro testování řídicího programu PLC.

Prostředí digitální továrny Technomatix umožňuje vytváření skutečně komplexních simulací výrobních linek na základě digitalizace celé továrny. Avšak komplexnost celého prostředí představuje spíše překážku v případě požadavku na pouhé testování řídicího programu pro PLC. Než by bylo možné tento testovat, tak musí být provedena řada náročných operací. Mezi tyto patří tvorba digitálních modelů jednotlivých zařízení na lince, jako jsou roboti, dopravníky, manipulátory a další. Tyto lze importovat z jiných CAD prostředí. Za zmínku také stojí, že Tecnomatix nedisponuje žádnou knihovnou modelů. Po vytvoření nebo importu modelů je potřeba definovat jejich kinematiku. Následně jsou přidány elektrické prvky, jako jsou motory, snímače, brány a další. Mezi další korky patří vytvoření popisu chování simulované linky. Na digitalizaci celé linky se většinou podílí tým konstruktérů, technologů a elektrikářů. Programátor PLC může vytvářený program testovat až na konci všech těchto procesů.

Naproti tomu prostředí SIMIT je hlavně orientováno právě na testování řídicího programu PLC a nabízí široké možnosti připojení emulovaných nebo fyzických PLC, které ovšem mohou být pouze z řady Siemens SIMATIC. S PLC jiných firem toto prostředí použít nelze. Další znatelnou nevýhodou tohoto prostředí je jeho vysoká pořizovací cena, která se v době psaní této práce pohybovala v rozmezí 7.000 ÷ 13.000 € za jednu licenci podle zvolené varianty.

Po diskusi se zadavatelem bylo přistoupeno k návrhu implementace vlastního simulátoru. Přestože zadavatel bude používat PLC SIMATIC, ke kterému by se dal SIMIT použít, zůstává jeho nevýhodou vysoká cena. Koncepce simulátoru je uvedena v kapitole 4. Realizace simulátoru je představena v kapitole 5.

3 ŘÍDÍCÍ ALGORITMUS PLC

Tato kapitola se zabývá popisem řídicího algoritmu PLC pro předávku materiálu, který je součástí vyvíjeného dopravníkového systému zadavatele.

Informace uvedené v této kapitole byly převzaty a upraveny z interní dokumentace zadavatele [12].

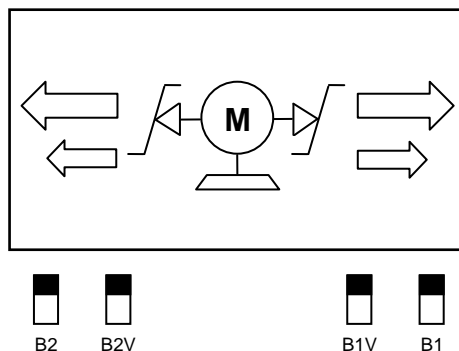
3.1 Válečkový dopravník

Základní složkou dopravníkové linky je válečkový dopravník. Jde o mechanickou sestavu určenou pro nesení materiálu. Materiál ležící na válečcích dopravníku je nesen jejich otáčením. Jednotlivé válečky jsou spojené řemenem, nebo řetězem tak, že jejich otáčení je synchronní. Lineárním spojením dopravníků, tak aby byl možný přesun materiálu z jednoho dopravníku na sousední, vzniká dopravníková řada.

Pro účely automatického řízení je dopravník vybaven pohonem a snímači pro detekci přepravovaného materiálu.

Podle počtu snímačů, počtu pozic pro materiál, počtu směrů a počtu rychlostních stupňů dostáváme různé typy dopravníků. Na Obr. 3.1 je schématické znázornění válečkové dopravníku s jednou pozicí, který má pohon umožňující dopředný i reverzní chod, a to dvěma různými rychlostmi.

Dopravník vybraný pro testování algoritmu PLC pro předávku materiálu má jednu pozici pro materiál a je vybaven pohonem umožňujícím dopředný i reverzní chod, a to dvěma různými rychlostmi.



Obr. 3.1 Válečkový dopravník

Popis obrázku:

B1 – Snímač pozice pro zastavení při pohybu vpřed.

B1V – Pozice pro zpomalení ve směru vpřed.

B2 – Snímač pozice pro zastavení pohybu vzad.

B2V – Pozice pro zpomalení ve směru vzad.

3.2 Rozhraní mezi dopravníky

Soubor signálů o stavu sousedních dopravníků je označován jako handshake. Používá se pro zajištění transportu materiálu z jednoho dopravníku na následující. Tento transport je označován jako předávka materiálu. Handshake tvoří jeden ze základních stavebních kamenů logického řízení dopravníkového systému.

Obsahem handshake je veškerá informace potřebná pro řízení obou dopravníků při přesunu materiálu z obsazeného dopravníku na následující prázdný dopravník. Při tomto přesunu se zároveň předává identifikační označení materiálu, které slouží k monitorování toku materiálu, a logická informace o obsazenosti dopravníku, čehož se následně využívá pro zjištění chybových stavů.

3.2.1 Základní signály

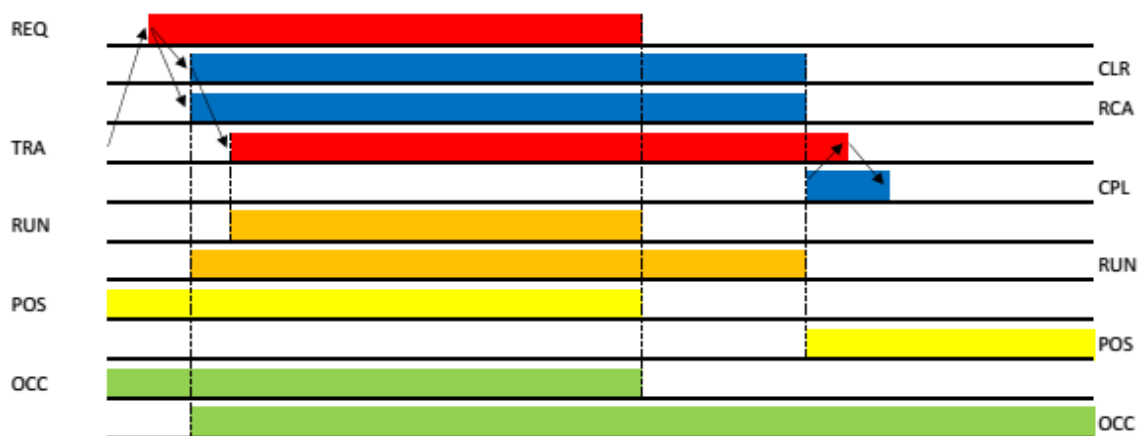
Základní signály tvoří ty, na kterých je postaven princip předávky materiálu.

- **RequestToTransfer (REQ)** – signál pro následující dopravník, materiál je připraven pro transport.
- **ClearToEnter (CLR)** – signál pro předcházející dopravník, dopravník je připraven pro přijetí materiálu.
- **TransferActive (TRA)** – signál pro následující dopravník o probíhajícím transportu. Tento signál je aktivní po celou dobu transportu materiálu na následující dopravník (tedy i po dobu přerušení předávky).
- **ReceivingActive (RCA)** – signál pro předcházející dopravník o probíhajícím přijetí materiálu. Tento signál je aktivní po celou dobu transportu materiálu z předcházejícího dopravníku (tedy i po dobu přerušení předávky).
- **Complete (CPL)** – signál pro předcházející dopravník, transport je ukončen.

3.2.2 Popis předávky materiálu

Zde je uveden popis logické závislosti předávky materiálu z dopravníku A na dopravník B, který odpovídá grafickému znázornění na Obr. 3.2.

Ve výchozím stavu je dopravník A obsazený (signál OCC) a následující dopravník B je prázdný a připravený pro příjezd materiálu (signál CLR). Probíhající přijetí materiálu dopravníkem B je indikováno signálem RCA. Start předávky začíná požadavkem REQ na předání z dopravníku A na dopravník B, který se rozjede, čímž očekává příjezd materiálu. Dále dopravník A nastaví signál aktivní předávky TRA, který trvá až do dokončení celého přejezdu. Dopravník A se rozjede a dochází k přejezdu materiálu z dopravníku A na dopravník B. Ukončení předávky má na starosti dopravník B, který v okamžiku, kdy dorazí materiál na pozici (signál POS), oznámí dopravníku A kompletnost předávky CPL. Dopravník A reaguje na CPL ukončením TRA, zastavením pohonu dopravníku, a tím je předávka dokončená.



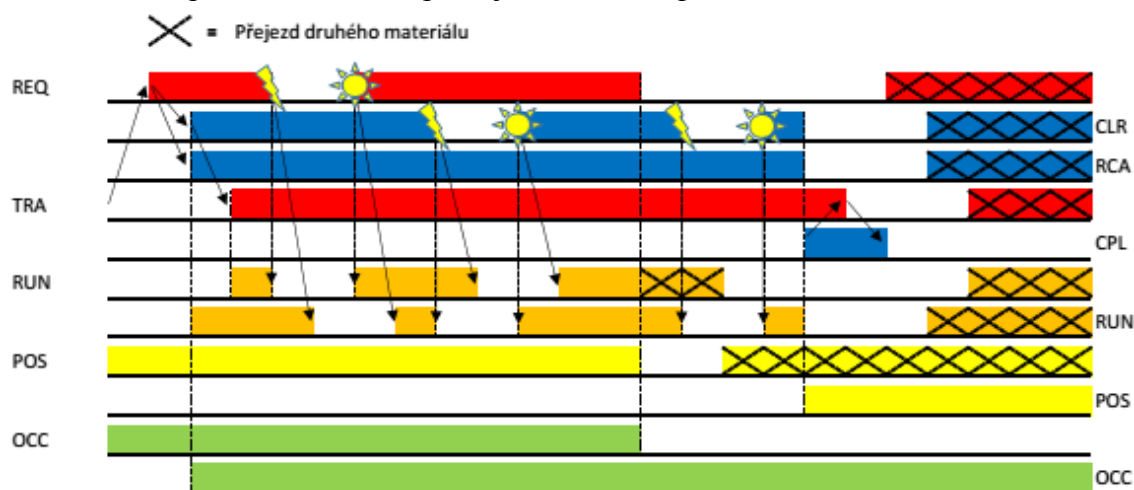
Obr. 3.2 Logická závislost předávky při přesunu z dopravníku na dopravník B [12]

3.2.3 Přerušení předávky

V určitých případech může docházet k přerušení předávky, které může být způsobeno poruchou, vypnutím automatického režimu, nouzovým zastavením, atp. Grafické znázornění těchto stavů je zobrazeno na Obr. 3.3.

Na straně dopravníku A se toto projeví přepnutím signálu REQ do stavu logické 0, čímž dojde k přerušení předávky. Signál TRA je však stále aktivní, protože materiál je na cestě. Přerušení předávky je ze strany dopravníku B možné přepnutím signálu CLR do stavu logické 0, takže dopravník B není nadále připraven pro příjezd materiálu. Signál RCA je však stále aktivní, protože stále probíhá příjem materiálu.

Na Obr. 3.3 je také znázorněn přjezd druhého materiálu na dopravník A z předcházejícího dopravníku v situaci, kdy přesun z dopravníku A na dopravník B skončil, ale dopravník B stále dopravuje materiál na pozici.



Obr. 3.3 Logická závislost při přerušení předávky [12]

3.2.4 Zpětná předávka

Zatím byla představena předávka materiálu pouze jedním směrem. Pro úplnou funkci dopravníkového systému je však nutné definovat předávku i opačným směrem.

Nejdříve je nutné definovat vzájemný vztah sousedících dopravníků, a to na základě materiálového toku. Směr předávky ve směru materiálového toku se označuje jako předávka vpřed (Fwd) a opačným směrem jako předávka zpětná (Rev). Při předávce vpřed materiál přejíždí z předchozího (PREV) dopravníku na dopravník následující (NEXT). Obdobně při zpětné (Rev) předávce přejíždí materiál z NEXT zpět na PREV dopravník.

Tímto jsou definovány základní pojmy pro realizaci zpětné předávky. Nyní je nutné ještě rozšířit handshake a to tak, že dojde ke zdvojení všech základních signálů a jejich rozdělení pro jednotlivé směry, takto:

- REQFwd, CLRFwd, TRAFwd, CPLFwd
- REQRev, CLRRev, TRARev, CPLRev

3.2.5 Doplnující signály

Tyto signály nejsou přímo nutné pro provedení předávky, jedná se o rozšíření poskytující informaci o stavu dopravníku.

- Occupied (OCC) – logická obsazenost dopravníku,
- RunFwd – dopravník se pohybuje směrem vpřed,
- RunRev – dopravník se pohybuje směrem vzad,
- LSEntryCmd (Low Speed Entry Command) – Dopravník tímto přikazuje jízdu pomalou rychlostí následujícímu dopravníku při odesílání materiálu na tento (následující) dopravník,
- LSExitCmd (Low Speed Exit Command) – Dopravník tímto přikazuje jízdu pomalou rychlostí předcházejícímu dopravníku při nájezdu materiálu z předcházejícího dopravníku,
- NoSkid – Na dopravníku není zastíněné žádné čidlo,
- Auto – Automatický režim dopravníku,
- Manu – Ruční režim dopravníku,
- Setup – Seřizovací režim dopravníku,
- SumFlt – Součtový poruchový signál.

3.2.6 Trasování informací

Tyto data jsou předávána zároveň s předávkou logické obsazenosti dopravníku. To zajišťuje přenos těchto informací zároveň s materiálem.

- SkidNum – Indexové označení materiálu (číslo) – např. pro řízení zásobníků apod.,
- SkidTarget – Cílová pozice materiálu (číslo) – např. pro řízení křižovatek apod.

4 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

4.1 Koncept simulátoru

Vytvářený simulátor dopravníkových výrobních linek bude tvořen aplikací s grafickým uživatelským rozhraním (GUI). Simulátor bude vytvořen pro PLC řady Siemens SIMATIC S7 a bude umožňovat simulaci jednak s emulovaným PLC, jednak s fyzickým PLC. Aplikace bude simulovat pohyb materiálu a obsazenost snímačů na lince a bude umožňovat uvedení linky do libovolného stavu. Předmětem testování bude sledování stavu předávky materiálu mezi jednotlivými dopravníky. Aplikace bude vizualizovat dopravníkovou linku a bude nabízet informace o stavech jednotlivých dopravníků.

Emulaci PLC bude zajišťovat nástroj S7-PLCSIM, který je součástí programového balíku SIMATIC STEP 7 Professional. Jeho podrobný popis je v kapitole 4.2.1.

Komunikace s fyzickým PLC a emulovaným PLC může být zprostředkována více způsoby. Popis všech vhodných prostředků je uveden v kapitole 4.2.

4.1.1 Simulace s emulovaným PLC

Výhodnou simulace s emulovaným PLC je možnost testování programu při absenci fyzického PLC a dalších připojených periférií, jako jsou decentralizované moduly s dalšími I/O, měniče, různé brány a další. Při simulaci jsou všechna tato zařízení emulována a to i jejich komunikace. Vykonávání programu v PLC pak probíhá úplně stejně jako ve fyzickém PLC, programátor tedy může pracovat s emulovaným PLC v pohodlí své kanceláře. Emulace také umožňuje ověřit správnost zvolené HW konfigurace.

Většina výrobců v průmyslové automatizaci nabízí ke svým PLC také jejich emulátory. Tato práce se zaměřuje na PLC řady Siemens SIMATIC.

4.1.2 Simulace s fyzickým PLC

Při simulaci s fyzickým PLC je řídicí program vykonáván v PLC, který později bude použit pro řízení reálné linky, a pomocí PC dochází k simulaci technologie na virtuální lince. Simulace, při které je využíváno fyzické zařízení, je označováno jako Hardware-in-the-Loop (HiL). Při takové simulaci nemusí nutně všechna zařízení být fyzicky připojena. Může být například využito jen jedno PLC a další zařízení, jako jsou např. decentralizované moduly, mohou být emulovány.

Komunikace mezi simulačním programem na PC a fyzickým PLC může být s výhodou zprostředkována OPC serverem. Výhoda využití OPC serveru spočívá v nezávislosti na výrobci PLC. Simulátor na PC stejně tak jako PLC jsou OPC klienty, kteří mohou komunikovat prostřednictvím OPC serveru podle definovaných protokolů. Volba komunikačního protokolu mezi PLC a OPC serverem je závislá na platformě PLC a zvolené sběrnici.

4.2 Vhodné prostředky

Tato podkapitola vytváří přehled o jednotlivých prostředcích, které lze využít při tvorbě simulátoru. U každého z nich je uveden podrobný popis a možnosti použití.

4.2.1 S7-PLCSim

Součástí programového balíku SIMATIC STEP 7 Professional je SIMATIC S7-PLCSIM. S7-PLCSIM je simulační nástroj, který umožňuje simulaci reálných PLC řady SIMATIC. Díky integraci s prostředím SIMATIC STEP 7 lze vytvořený řídicí program pro PLC přímo stáhnout společně s HW konfigurací do emulovaného PLC. Emulované PLC v S7-PLCSIM se pak chová stejně jako fyzické PLC. Díky podpoře více instancí S7-PLCSIM a komunikaci přes MPI, PROFIBUS DP a TCP/IP lze také simulovat komunikaci více emulovaných PLC mezi sebou.

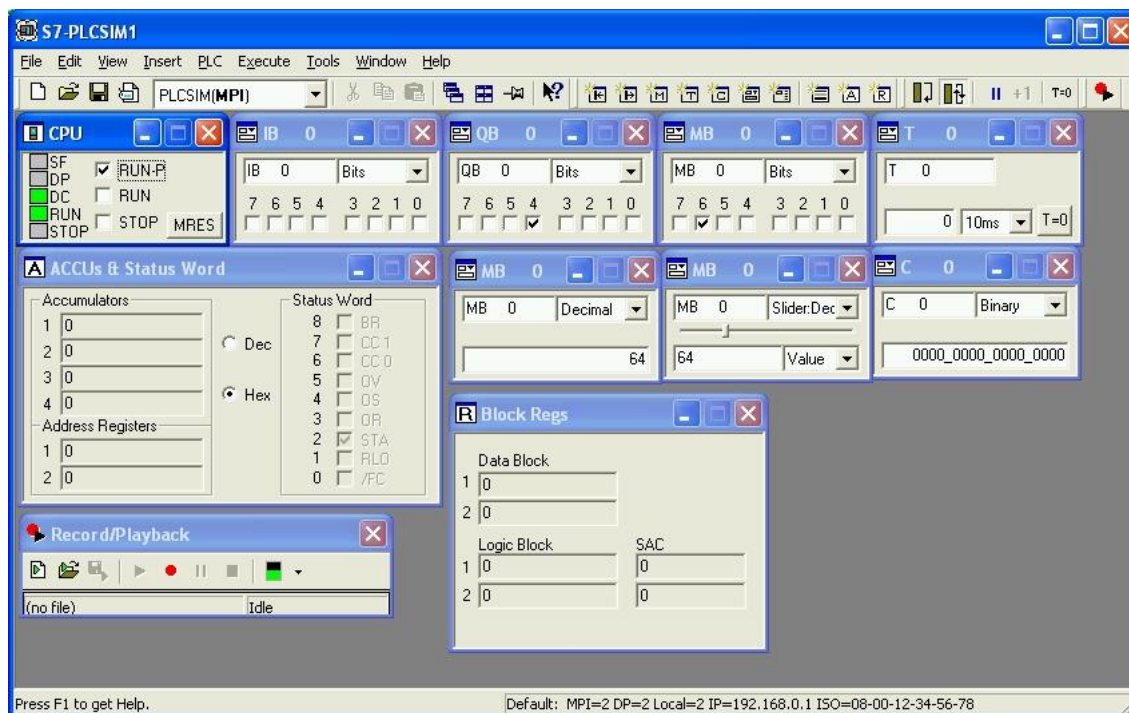
Mezi další funkcionality S7-PLCSIM patří:

- Vytváření objektů s přístupem k vstupním a výstupním paměťovým prostorům, akumulátorům a registrům emulovaného PLC,
- Paměťový přístup symbolickou adresací,
- Automatický běh časovačů,
- Manuální nastavení nebo reset všech nebo jednotlivých časovačů,
- Změna módu CPU (STOP, RUN a RUN-P),
- Pozastavení simulace bez vlivu na stav vykonávaného programu,
- Testování chování programu voláním OB pro chyby a přerušení,
- Vytváření záznamů událostí,
- Změna skenovacího režimu z průběžného na jednorázový.

Přestože se S7-PLCSIM chová stejně jako reálné PLC, existuje několik rozdílů a omezení. Mezi tato omezení a rozdíly S7-PLCSIM od reálného PLC patří:

- S7-PLCSIM podporuje 4 akumulátory (např. CPU S7-300 má jen 2),
- Některé chyby se nezapisují do diagnostického bufferu (např. slabé baterie v CPU, chyby EPROM),
- Nejsou podporovány funkční moduly FM,
- Chybí podpora komunikace „point-to-point“,
- Nelze vynutit hodnoty proměnných,
- Chybí podpora PROFINET I/O.

Ukázka z prostředí S7-PLCSIM je zachycena na Obr. 4.1. Jsou zde k vidění okna pro změnu módu CPU, okna se stavy akumulátorů a registrů a okna s možností modifikace vstupů, výstupů, bitů v paměťové oblasti M, časovačů a čítačů.



Obr. 4.1 Ukázka z prostředí S7-PLCSIM

Během instalace S7-PLCSIM na uživatelské PC dochází také k instalaci jeho rozšíření, které se nazývá S7ProSim. S7ProSim prostřednictvím tzv. COM objektů umožňuje uživateli programátorský přístup k S7-PLCSIM z jiného programu. S7ProSim a COM objekty jsou popsány v následujících podkapitolách.

4.2.2 Objekty COM

Objekty COM (z angl. Component Object Model) tvoří systém pro tvorbu binárních softwarových komponent, které mohou mezi sebou komunikovat. Jedná se o standard zavedený společností Microsoft, který je nezávislý na platformě. Objekty COM mohou být vytvořeny pomocí různých programových jazyků a mohou být využívány při tvorbě programů v jiných jazycích. Tato nezávislost je zajištěna tím, že knihovny vytvořené dle standardu pro COM mají i po zkompilování pevně danou strukturu. Komunikace s COM objekty je zajištěna přes pevně dané rozhraní, které je tvořeno sadou definovaných metod. Implementace těchto metod je volná, ale je pevně stanoveno, co objekt dělá, když jsou tyto metody volány. Dalším z principů COM objektů je jejich zapouzdřenost. Nelze tedy získat přístup k jejich vnitřní struktuře a implementaci.

4.2.3 S7ProSim

Jak již bylo zmíněno, S7ProSim je rozšíření S7-PLCSIM, k jehož instalaci dojde při instalaci S7-PLCSIM. S7ProSim je tvořeno výše popsanými COM komponenty a zajišťuje rozhraní mezi instancemi S7-PLCSIM a uživatelským programem. Toto rozhraní může být s výhodou používáno ve všech vývojových prostředích, které

podporují standard COM. Patří sem např. Visual Basic, Visual C++, Visual C#, Microsoft Excel a další.

Po vložení S7ProSim COM objektu do projektu v některém z těchto prostředí má programátor mimo jiné možnost ovládat S7-PLCSIM a má přístup k datům v emulovaném PLC.

Sada metod s jejich stručným popisem je uvedena v Tab. 4.1.

Metoda	Popis
BeginScanNotify	Registruje S7ProSim ke zpětným dotazům od PLC. Události ScanFinished a PLCSimStateChanged budou odeslány, pokud nastanou.
Connect	Připojí S7ProSim k S7-PLCSIM.
ConnectExt	Připojí S7ProSim k instanci S7-PLCSIM podle čísla instance InstanceNumber.
Continue	Pokračování v simulaci, která byla pozdržena.
Disconnect	Odpojí S7ProSim od S7-PLCSIM.
EndScanNotify	Odregistruje S7ProSim od zpětných dotazů od PLC. Události ScanFinished a PLCSimStateChanged nebudou odeslány.
ExecuteNmsScan	Vynucení skenovacího cyklu po stanovenou dobu bez čekání na ukončení probíhajícího cyklu.
ExecuteNScans	Vynucení daného počtu skenovacích cyklů bez čekání na ukončení probíhajícího cyklu.
ExecuteSingleScan	Vynucení jednoho skenovacího cyklu bez čekání na ukončení probíhajícího cyklu.
GetPauseState	Dotaz na stav pauzy simulace.
GetScanMode	Dotaz na skenovací mód S7-PLCSIM.
GetStartUpSwitch	Dotaz na nastavení spuštění S7-PLCSIM (hot restart, warm restart, nebo cold restart).
GetState	Dotaz na polohu přepínače v S7-PLCSIM (RUN, RUN-P, nebo STOP).
HotStartWithSavedValues	Nastavení booleanové hodnoty pro určení, zda S7-PLCSIM má při hot startu načíst uložené hodnoty periferních vstupů/výstupů.
Pause	Pozastavení simulace.
ReadDataBlockValue	Čtení hodnoty bitu, bytu, wordu nebo double wordu z paměťové oblasti DB S7-PLCSIM.
ReadFlagValue	Čtení hodnoty bitu, bytu, wordu nebo double wordu z bitové paměťové oblasti M S7-PLCSIM.
ReadOutputImage	Čtení hodnoty z periferních výstupů (paměťové oblasti PQ).
ReadOutputPoint	Čtení hodnoty bitu, bytu, wordu nebo double wordu z periferních výstupů (paměťové oblasti PQ).
SavePLC	Uložení dat emulovaného PLC do souboru. Data sestávají z programu, HW konfigurace, polohy přepínače, režimu skenování, stavu vstupů/výstupů, časovačů, symbolických adres a stavu napájení.

SetScanMode	Nastavení skenovacího módu S7-PLCSIM.
SetStartUpSwitch	Nastavení spuštění S7-PLCSIM (hot restart, warm restart, nebo cold restart).
SetState	Nastavení přepínače v S7-PLCSIM (RUN, RUN-P, nebo STOP).
StartPLCSim	Spuštění S7-PLCSim s daným souborem dat emulovaného PLC.
StartPLCSimExt	Spuštění instance S7-PLCSim s daným souborem dat emulovaného PLC.
WriteDataBlockValue	Zápis hodnoty bitu, bytu, wordu nebo double wordu z paměťové oblasti DB S7-PLCSIM.
WriteFlagValue	Zápis hodnoty bitu, bytu, wordu nebo double wordu z bitové paměťové oblasti M S7-PLCSIM.
WriteInputImage	Zápis hodnoty z periferních vstupů (paměťové oblasti PQ).
WriteInputPoint	Zápis hodnoty bitu, bytu, wordu nebo double wordu z periferních vstupů (paměťové oblasti PQ).

Tab. 4.1 Metody S7ProSim COM (převzato a upraveno z [7])

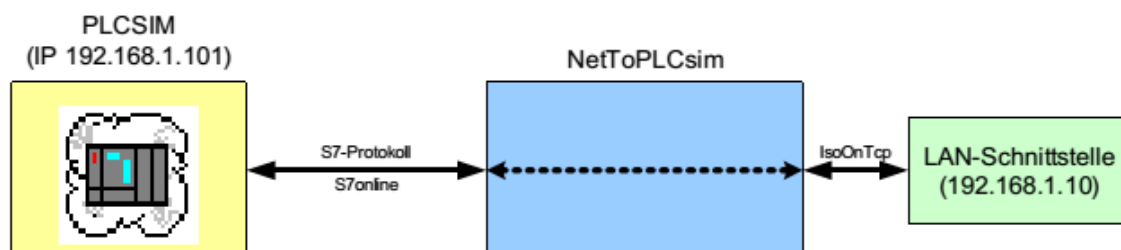
Jednotlivé metody včetně formálních parametrů a návratových hodnot jsou podrobně popsány v [7].

4.2.4 NetToPLCSim

K simulačnímu prostředí S7-PLCSIM je volně k dispozici nástroj NetToPLCSim, který vytvořil Thomas Wiens [8]. NetToPLCSim doplňuje S7-PLCSIM o síťové rozhraní TCP/IP, čímž umožňuje spojení emulovaného PLC s různými službami.

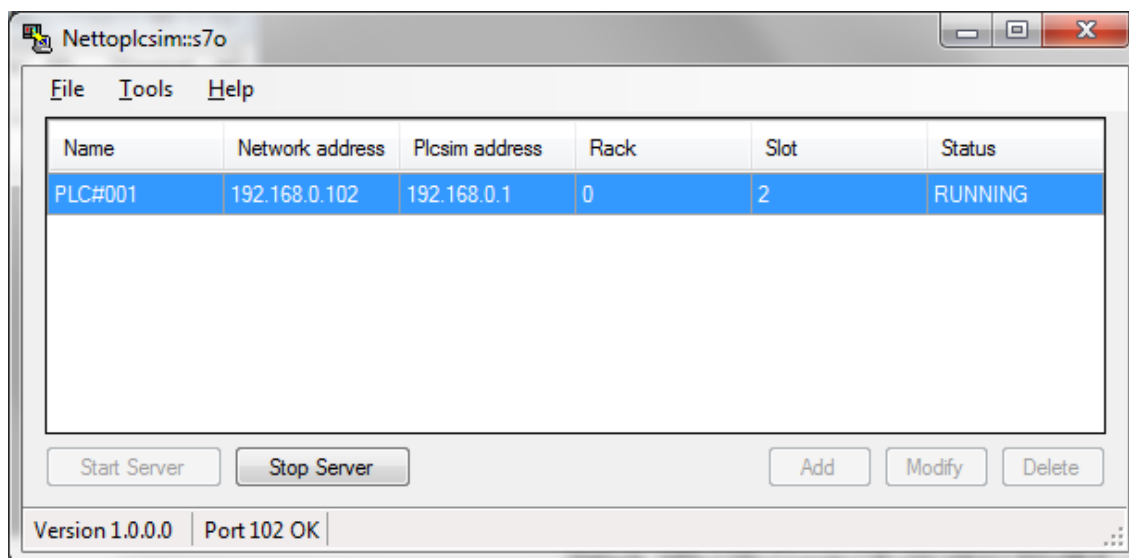
Starší verze programu využívá pro tvorbu rozhraní přímo modul S7ProSim, který je popsán v předešlé kapitole. Její nevýhodou oproti novější verzi je omezený přístup k některým datovým oblastem a podpora pouze jedné instance S7-PLCSIM. Novější verze programu využívá neoficiální rozhraní S7online, které také slouží k programování S7-PLCSIM z vývojového prostředí SIMATIC STEP 7, a přímo implementuje komunikaci pomocí Protokolu S7. Tento protokol je využíván pro komunikaci na síti PROFINET.

Dobrou ilustraci využití a postavení NetToPLCSim nabízí Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Přehledové schéma využití NetToPLCSim [9]

Snímek uživatelské rozhraní s konfigurací pro jednu instanci S7-PLCSIM je na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Uživatelské rozhraní NetToPLCSim

Podrobný popis možností programu a jeho nastavení je uveden v dokumentaci programu [9].

4.2.5 LIBNODEAVE

LIBNODEAVE je open-source software, který umožňuje přímou výměnu dat mezi uživatelskou aplikací v PC a PLC řady SIMATIC S7. Jsou podporována PLC z rodin S7-200, 300 a 400.

Software je nabízen formou kompilovaných knihoven DLL pro tato programovací prostředí: C, C++, C#, Delphi, Pascal, Perl a VB(A). K dispozici je také kompletní zdrojový kód v C, jehož kompilací lze získat knihovnu pro další prostředí.

Pomocí této knihovny lze přistupovat ke všem datovým oblastem v PLC včetně obrazů vstupů a výstupů, časovačů a čítačů. Lze také například měnit mód běhu PLC nebo číst diagnostiku CPU.

Pro komunikaci s PLC lze využít tato rozhraní:

- MPI
- PPI
- ISO TCP (RFC1006)
- MPI s převodníkem NETLink PRO ETH

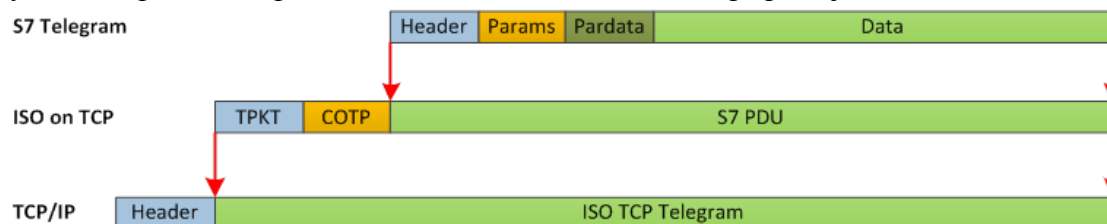
LIBNODEAVE je nabízen zdarma podle licencí GPL⁶ a LGPL⁷.

Základním blokem komunikace je tzv. PDU (Protocol Data Unit), jehož definice je součástí S7 Protokolu. Tento pak určuje maximální možnou velikost dat v jedné transakci. Velikost PDU je závislá na konkrétním CPU. V případě PDU o velikosti 240 bajtů, je maximální možná velikost dat pro zápis 218 bajtů a pro čtení 222 bajtů. Větší množství dat musí být rozděleno do více po sobě jdoucích transakcí. PDU sestává

⁶ GNU GPL (GNU General Public License) – licence pro svobodný software.

⁷ GNU LGPL (GNU Library General Public License) – licence pro svobodný software.

hlavička o 12 bajtech, parametry o různé délce a samotná data. Lepší představu o PDU a systému zapouzdření protokolů nabízí Obr. 4.5. V tomto případě jde o síť TCP/IP.



Obr. 4.4 Zapouzdření PDU v protokolech [11]

4.2.6 OPC

Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) je původní název pro standardizované programové rozhraní, které zajišťovalo výměnu dat v reálném čase mezi zařízeními různých výrobců v průmyslové automatizaci a bylo postaveno na technologii COM od společnosti Microsoft. Původně bylo toto rozhraní určeno jen k výměně dat od zařízení s HMI a se systémem SCADA⁸. Vlivem dalšího vývoje v této oblasti bylo toto rozhraní později přejmenováno na Open Platform Communications zdůrazňující nezávislost rozhraní na platformě.

Krátce po vzniku tohoto standardu byla založena organizace OPC Foundation, která je odpovědná za rozšiřování a péči o tento standard.

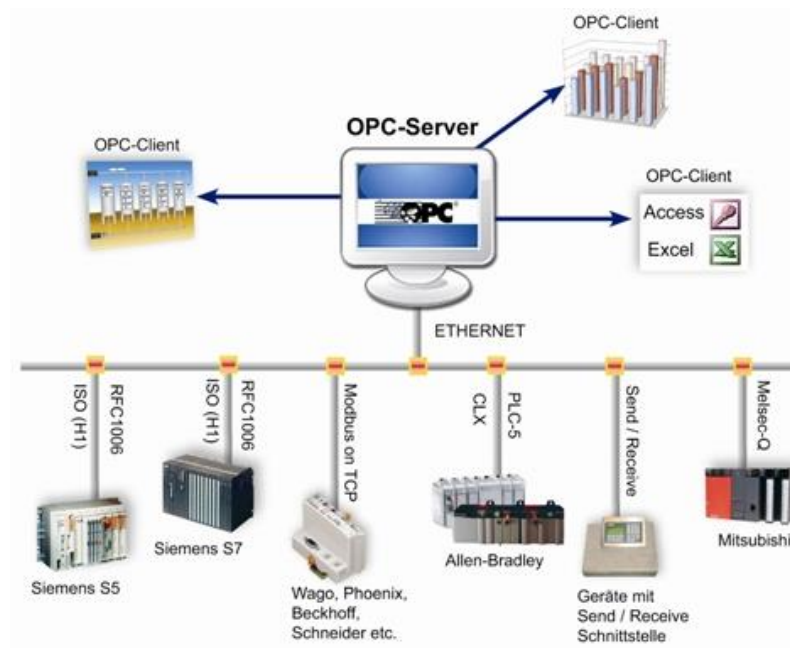
Specifikace standardu OPC je rozdělena do několika částí:

- OPC DA (Data Access) představuje nejznámější specifikaci a je určena pro čtení a zapisování dat v reálném čase. Na trhu bývá často nesprávně samostatně označována za OPC standard, přestože tvoří pouze jednu z jeho specifikací. V době tvorby této práce byla uvedena již třetí revize této specifikace DA 3.0. U jednotlivých revizí je zaručena zpětná kompatibilita serverů se staršími klienty, ale ne naopak.
- OPC HDA (Historical Data Access) oproti DA specifikaci nezajišťuje přístup k datům v reálném čase, ale přístup k jejich předešlým hodnotám.
- OPC A/E (Alarms and Events) specifikace zajišťuje přenos zpráv o alarmech a událostech.
- OPC DX (Data eXchange) specifikace je určena k přímé komunikaci mezi OPC servery.
- OPC XML-Data Access specifikace popisuje chování OPC aplikací, které umožňují OPC DA za použití XML.
- OPC Complex Data rozšiřuje specifikaci OPC DA o strukturovaná a komplexní data.
- OPC Security rozšiřuje specifikaci OPC o vrstvu umožňující řízení přístupu.

⁸SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) - Systém pro monitoraci a ovládání průmyslových zařízení.

- OPC Batch rozšiřuje specifikaci OPC DA o správu receptur.
- OPC UA (Unified Architecture) je specifikací vytvořenou v roce 2008 s cílem sjednotit předchozí specifikace OPC DA, OPC A/E a OPC HDA pod jednu specifikaci. Tato jednotná specifikace je zpětně kompatibilní s předcházejícími.

Ilustrace využití možností standardu OPC je zachycena na Obr. 4.5.



Obr. 4.5 Ukázka využití OPC [10]

5 REALIZACE

V této kapitole je podrobně popsán způsob realizace simulátoru výrobních linek, který je založen na konceptu a na nástrojích uvedených v kapitole 4.

V jednotlivých podkapitolách je čtenář postupně seznámen s implementací komunikace mezi PC a PLC, popisem vytvořené aplikace pro simulaci výrobních linek a její obsluhou. V závěru kapitoly je demonstrována funkčnost simulátoru na konkrétním použití a je nabídnuto zhodnocení možností simulátoru při ladění reálných řídicích programů výrobních linek.

5.1 Komunikace mezi PC a PLC

V kapitole 4.2 jsou popsány čtyři nástroje, které lze použít pro komunikaci mezi PC a PLC. Jedná se o S7ProSim, NetToPLCSim, LIBNODAVE a OPC.

Jak již bylo uvedeno, tak S7ProSim umožňuje komunikaci pouze s emulovaným PLC v prostředí S7-PLCSim a nelze jej použít v kombinaci s fyzickým PLC.

Jako univerzální řešení se nejprve jevílo použití OPC serveru, a to buď přímo od společnosti Siemens, nebo od jiného dodavatele, který ke svému serveru nabízí knihovny pro komunikaci klientských aplikací se serverem. Prostřednictvím takového OPC serveru by bylo možné komunikovat jednak s emulovaným, jednak s fyzickým PLC. Při tvorbě simulátoru se však vyskytli dva problémy s použitím OPC serveru. Prvním byl fakt, že OPC server nenabízel přístup do všech paměťových oblastí PLC. Druhou překážkou byla nutnost zakoupení licence, jelikož žádný z volně dostupných OPC serverů nenabízel knihovny pro komunikaci klientských aplikací se serverem. Cena licence OPC serveru SIMATIC NET OPC Server od společnosti Siemens byla v době tvorby této práce přibližně 1000 €.

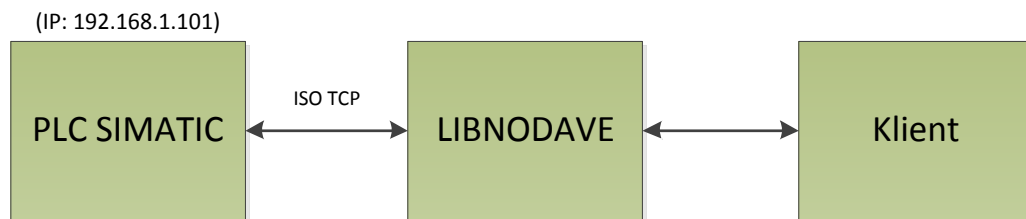
Při realizaci se nejlépe osvědčilo využití DLL knihovny LIBNODAVE, jelikož se jedná o bezplatný software, který umožňuje přímou komunikaci s PLC a nevyžaduje žádnou konfiguraci spojení ze strany PLC. Pro komunikaci s fyzickým PLC je knihovna LIBNODAVE zcela postačující. Doplněním klientské aplikace o volně dostupný software NeToPLCSim (viz kapitola 4.2.4) lze tuto knihovnu bez dalších úprav také použít pro komunikaci s emulovaným PLC.

5.1.1 Fyzické PLC

Komunikace mezi fyzickým PLC a vytvořeným simulátorem v PC je zprostředkována přímo knihovnou LIBNODAVE, která umožňuje komunikaci s PLC prostřednictvím protokolu ISO TCP.

Pro navázání spojení s PLC SIMATIC je pouze nutné znát IP adresu komunikačního procesoru a přítomnost PLC a PC na stejné podsíti. Komunikační schéma je na Obr. 5.1.

Podrobný popis knihovny LIBNODAVE je v podkapitole 4.2.5 a ukázka jejího použití bude poskytnuta dále v popisu programu.

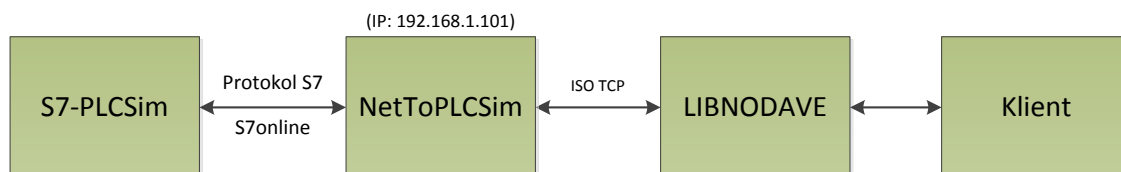


Obr. 5.1 Komunikační schéma s fyzickým PLC

5.1.2 Emulované PLC

Emulaci PLC zajišťuje S7-PLCSim, který však neumožňuje komunikaci po protokolu ISO TCP s aplikacemi třetích stran. Toto značené omezení například také zabraňuje vývojáři řídicích systémů otestování vytvářeného HMI při absenci fyzického PLC.

Pomocí samotné knihovny LIBNODEAVE tedy nelze přímo navázat spojení s emulovaným PLC. Řešení v tomto případě nabízí volně dostupná aplikace NetToPLCSim (viz kapitola 4.2.4), která umí zprostředkovat ISO TCP komunikaci mezi S7-PLCSim a jinými službami. Ukázka použití NetToPLCSim bude poskytnuta dále v popisu programu. Využití NetToPLCSim dobře ilustruje Obr. 5.2.



Obr. 5.2 Komunikační schéma s emulovaným PLC

5.1.3 Komunikační rozhraní

Pro účely testování správnosti řídicího programu PLC je vhodné vyhnout se jakýmkoliv změnám v řídicím programu pro účely komunikace a simulace. Tím lze zajistit efektivní testování nezměněného řídicího algoritmu dopravníkové linky.

Stavové informace o jednotlivých dopravnících na lince jsou proto čteny přímo z instančního datového bloku (zkráceně DB), který obsahuje nezměněná strukturovaná data o jednotlivých dopravnících vždy o délce 96 bajtů. Čtení a zápis řídicích povelů (např. spuštění automatického režimu) probíhá také z DB, ke kterým přistupuje samotný řídicí program PLC, a tato data nejsou v prostředí PLC nijak upravována pro účely komunikace s PC.

Simulace obsazenosti snímačů na lince při pohybu materiálu probíhá pomocí nastavování příslušných bitů ve vytvořeném DB. Adresy těchto bitů jsou pak namapovány v řídicím programu PLC namísto fyzických snímačů. Tato možnost byla upřednostněna namísto modifikace obrazů digitálních vstupů pomocí simulátoru v PC, jelikož při každém operačním cyklu PLC dochází k přepisu těchto obrazů.

5.2 Popis programu

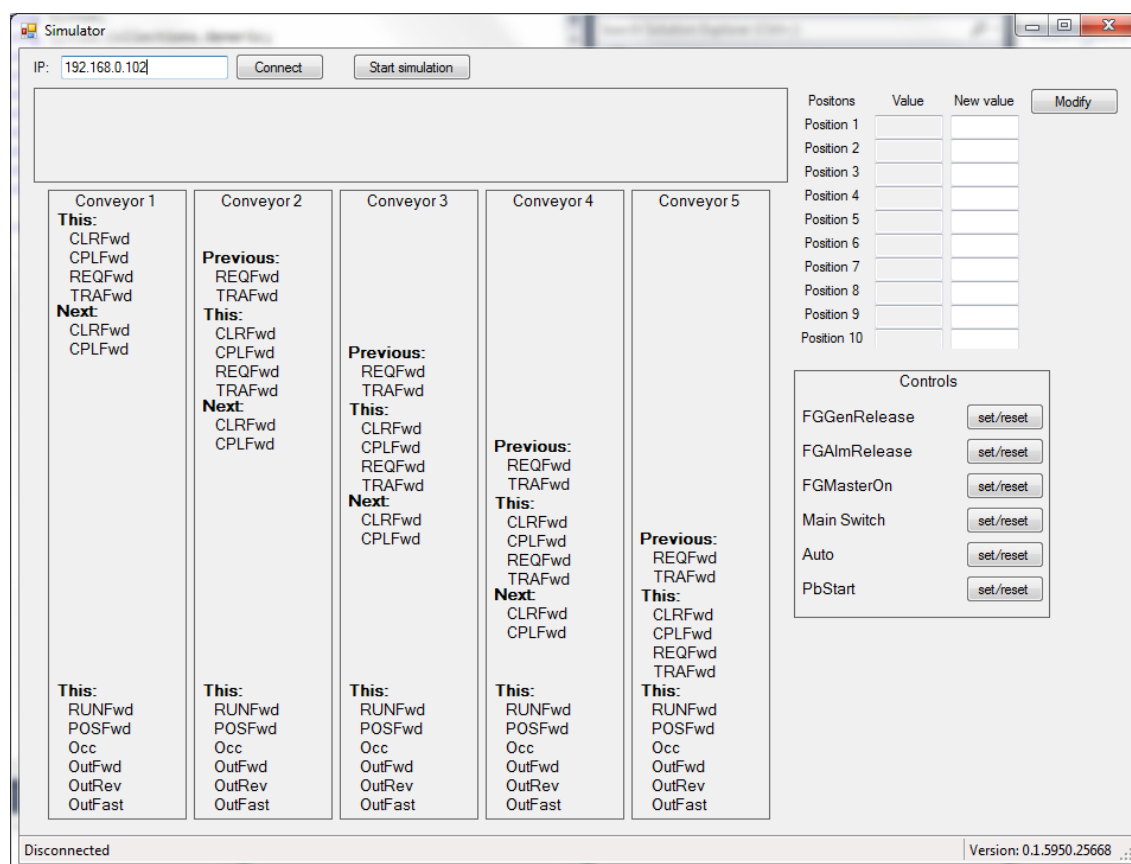
Simulátor dopravníkových linek byl vytvořen v prostředí Microsoft Visual Studio Express 2013 za použití programovacího jazyka C#. Kompletní zdrojový kód programu je k dispozici na příloženém CD.

5.2.1 Grafické uživatelské rozhraní

Vzhled grafického uživatelského rozhraní při spuštění programu je patrný z Obr. 5.3.

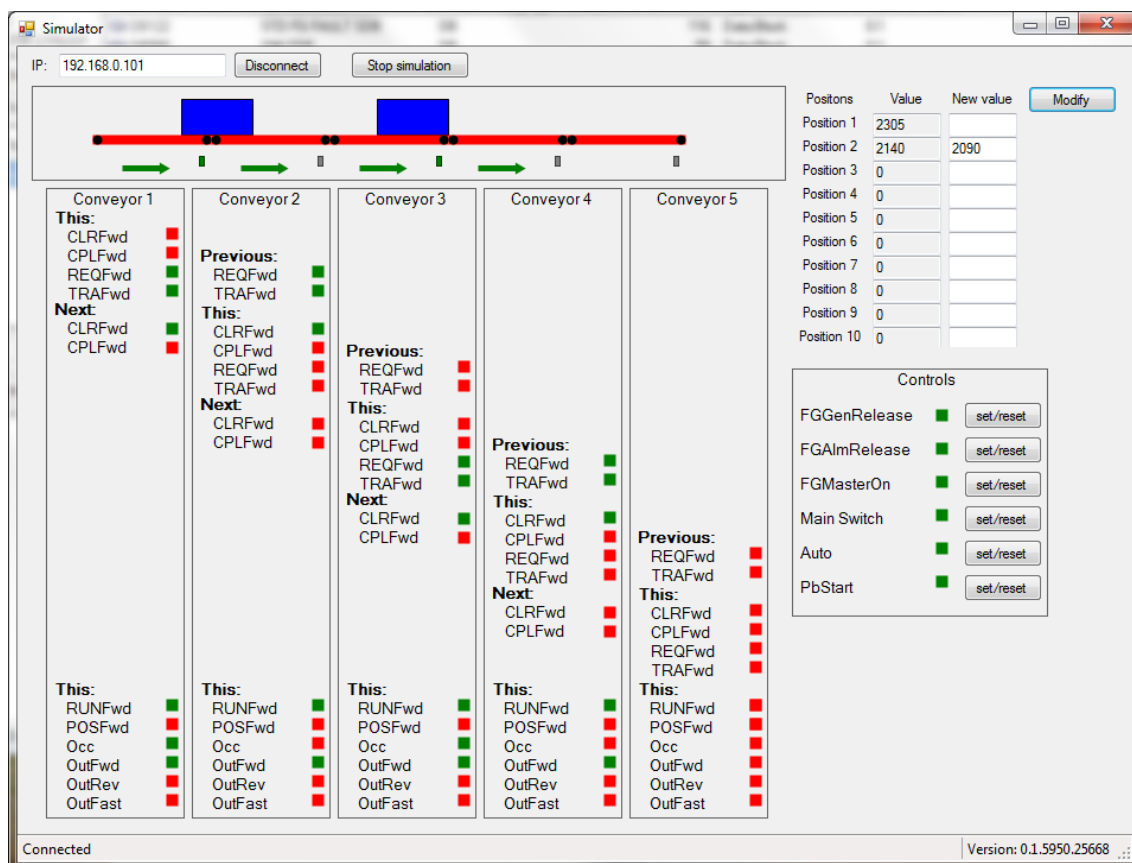
Okno programu je rozděleno na několik částí. V levém horním rohu se nachází textové pole, do kterého se zadává IP adresa PLC. Dále jsou zde tlačítka „Connect“, resp. „Disconnect“, a „Start simulation“, resp. „Stop simulation“. První slouží k navázání a přerušení spojení mezi PC a PLC. Druhé z tlačítek spouští a zastavuje simulaci přítomnosti materiálu na dopravnících.

Po zadání správné IP adresy a kliknutí na tlačítko „Connect“ dojde k navázání spojení mezi simulátorem a PLC. Stav spojení je indikován ve spodní části okna na levém okraji stavové lišty nápisy „Disconnected“, resp. „Connected“.



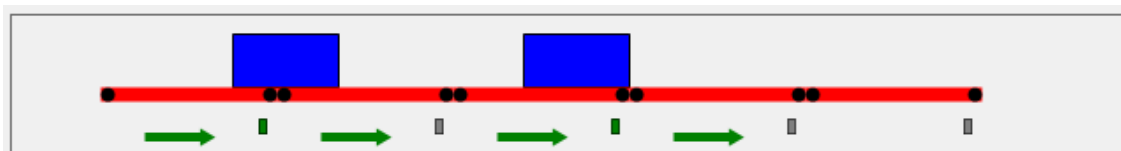
Obr. 5.3 Grafické uživatelské rozhraní při spuštění programu

Pro lepší přehlednost je pro další popis vzhledu grafického uživatelského rozhraní programu odkazováno na Obr. 5.4, na kterém je zachyceno hlavní okno programu při aktivním spojení mezi PC a PLC a za běhu simulace.



Obr. 5.4 Grafické uživatelské rozhraní programu za běhu simulace

V horní části okna na Obr. 5.4 je v obdélníkovém panelu zprostředkována vizualizace aktuálního stavu dopravníkové linky. Výřez této vizualizace je na Obr. 5.5. Jedná se o vizualizaci dopravníkové linky o pěti dopravnících, které jsou zobrazeny červeně s černými válečky na obou koncích. Chod každého dopravníku je ve vizualizaci indikován zelenou šipkou pod ním, která ukazuje ve směru chodu. Na konci každého dopravníku je polohový snímač, který je zobrazen malým černým obdélníkem. V případě přítomnosti materiálu, a tedy sepnutí snímače, je výplň obdélníku zelená. Neobsazený snímač je signalizován šedou výplní. Modré obdélníky na dopravnících představují přepravovaný materiál.



Obr. 5.5 Výřez z hlavního okna s vizualizací

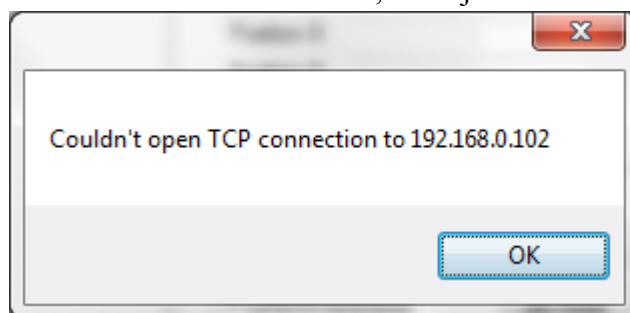
Pod panelem s vizualizací se nachází pětice vertikálních panelů, které zobrazují soubor signálů pro handshake vždy pro daný dopravník. Signály jsou vždy rozčleněny do skupin „Previous“, „This“ a „Next“. Aktivní signál je indikován zeleným čtvercem vedle popisu signálu a neaktivní signál je indikován červeně. Zobrazení signálu v horní části panelů je voleno kaskádovitě tak, aby dvojice signálů vedle sebe v sousedních panelech vždy odpovídala a bylo tak možné ověřit správnost sdílení signálu mezi

sousedními dopravníky. Ve spodní části panelů jsou zobrazeny signály, které jsou důležité pro daný dopravník, ale nejsou sdíleny se sousedními dopravníky. Pro úsporu zde nejsou uvedeny všechny signály, jak jsou popsány v kapitolách 3.2.1 a 3.2.5, ale jen signály zajímavé z pohledu testování algoritmu předávky materiálu.

V pravém horním rohu okna na Obr. 5.4 se nachází ovládání pro pozice materiálů na lince. Na linku lze maximálně umístit deset kusů materiálu. Pro každou pozici materiálu jsou k dispozici dvě textová pole. První z nich uživatel nemůže upravovat, protože je určené pouze pro zobrazení aktuální pozice materiálu za běhu simulace. Druhé pole slouží pro změnu aktuální pozice. Po zadání hodnot uživatelem se změna projeví po kliknutí na tlačítko „Modify“. Tím dojde k okamžitému přepisu aktuální pozice materiálu. Toto ovládání je aktivní pouze za běhu simulace.

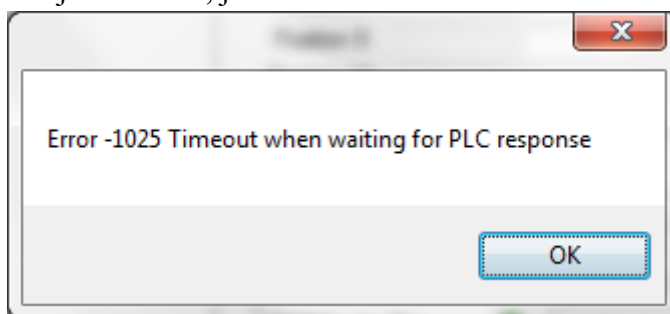
Poslední část hlavního okna vytvořené aplikace tvoří panel „Controls“ v pravé spodní části okna. Zde jsou zobrazeny stavy příkazů pro obsluhu celé dopravníkové linky. Vedle každého z nich je tlačítko „set/reset“, které umožňuje změnu hodnoty z aktivní na neaktivní a naopak.

Hlavní okno vytvořené aplikace je doplněné o další dialogová okna. Tato se objeví pouze v případě chybového stavu, který nastal za běhu aplikace. Během tvorby a ladění této aplikace bylo ošetřeno mnoho chybových stavů. Zde je ukázka dvou možných stavů, kterou mohou při používání aplikace nastat. Pokud při navazování spojení mezi PLC a PC je uživatelem zadána nesprávná IP adresa PLC, tak spojení není navázáno a uživatel je o této skutečnosti informován v okně, které je na Obr. 5.6.



Obr. 5.6 Chybové okno při špatné IP

Druhý příkladem je stav, kdy dojde ke ztrátě spojení například z důvodu odpojení napájení nebo fyzickému odpojení PLC od sítě. V tomto případě dojde k automatickému ukončení spojení a případně přerušení probíhající simulace. Okno, které o tomto informuje uživatele, je na Obr. 5.7.



Obr. 5.7 Chybové okno při ztrátě spojení

5.2.2 Ukázky kódu

V této podkapitole jsou uvedeny ukázky zdrojového kódu vytvořeného programu. Kompletní zdrojový kód je k dispozici na přiloženém CD.

Ukázka zkráceného kódu metody pro navázání spojení mezi PC a PLC včetně komentářů a deklarace nezbytných globálních proměnných je uvedena zde:

```
//Communication constants
const int rack = 0;
const int slot = 2;
const int port = 102;
//Variables for communication
static libnodave.daveOSserialType fds; //declaration of connection
type
static libnodave.daveInterface di; //declaration of connection
interface
static libnodave.daveConnection dc; //declaration of connection
bool connectionStatus = false; //declaratio of bool for
connection status

/// <summary>
/// This function establishes TCP/IP connection to the PLC.
/// </summary>
/// <param name="port">Port number</param>
/// <param name="portName">IP address of the PLC</param>
/// <returns>Returns true for successfull connection</returns>
private bool connectPLC(int port, string portName)
{
    //openSocket function has 20s timeout
    fds.rfd = libnodave.openSocket(port, portName); //open socket
    to the PLC
    fds.wfd = fds.rfd;

    if (fds.rfd > 0)
    {
        di = new libnodave.daveInterface(fds, "IF1", 0,
        libnodave.daveProtoISOTCP, libnodave.daveSpeed187k); //set
        up the interface
        di.setTimeout(1000);
        dc = new libnodave.daveConnection(di, 0, rack, slot); //
        set up connection

        if (0 == dc.connectPLC()) //establish connection and verify
            return true;
        else
            return false;
    }
    // Errorr handling
    else
    {
        MessageBox.Show( "Couldn't open TCP connection to " +
        portName);
        return false;
    }
}
```

Ukázka zkráceného kódu metody pro zápis samostatného bitu do PLC je uvedena zde:

```
/// <summary>
/// Sets or resets specified bit in the PLC
/// </summary>
/// <param name="value">Desired value of the bit</param>
/// <param name="area">Memory area in the PLC according to
libnodave</param>
/// <param name="DBnumber">Number of DB</param>
/// <param name="byteNum">Number of byte</param>
/// <param name="bitNum">Number of bit</param>
private void setBitPLC(bool value, int area, int DBnumber, int
byteNum, int bitNum)
{
    try
    {
        byte[] buf = new byte[1];    //sending buffer
        int Adr;                      //bit address
        int res;                      //result value

        if (connectionStatus)
        {
            if (value)
                buf[0] = 255; //logical 1
            else
                buf[0] = 0;    //logical 0

            Adr = byteNum * 8 + bitNum; //calculate bit address
            res = dc.writeBits(area, DBnumber, Adr, 1, buf); //write
            bit

            if (res != 0)
            {
                throw new Exception("Error " + res + " " +
libnodave.daveStrerror(res));
            }
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        stopTimers();
        disconnectPLC();
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}
```


Zde je ukázka zkráceného zdrojového kódu metody pro čtení hodnot řídicích signálů v PLC:

```
// Values read from PLC
int[] controlsPLC = new int[3]; //declaration o int array for PLC
controls
//Local copies from PLC
bool[] controls = new bool[6]; //declaration o bool array for PLC
controls
/// <summary>
/// This functions reads values for controls from PLC
/// </summary>
private void readControls()
{
    try
    {
        libnodave.PDU p; //declaration of PDU packet
        libnodave.resultSet rs = new libnodave.resultSet();
        //declaration of result set
        int res; //declaration of result

        //read only if connected
        if (connectionStatus)
        {
            //Read controls status
            //read multiple items in different locations
            p = dc.prepareReadRequest();
            p.addVarToReadRequest(libnodave.daveDB, 5201, 4, 1);
            //FGGenRelease, FGAlmRelease, FGMasterOn
            res = dc.execReadRequest(p, rs); //read
            res = dc.useResult(rs, 0); //get result
            if (res == 0)
            {
                controlsPLC[0] = dc.getS8(); //use result as
                signed byte
                //Copy read values to the Controls
                controls[0] = isBitSet(controlsPLC[0], 0);
                controls[1] = isBitSet(controlsPLC[0], 1);
                controls[2] = isBitSet(controlsPLC[0], 2);
            }
            else
            {
                throw new Exception("Error " + res + " " +
                    libnodave.daveStrerror(res));
            }
        }
        else
        {
            stopTimers();
            disconnectPLC();
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        stopTimers();
        disconnectPLC();
        MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}
```

5.3 Obsluha programu

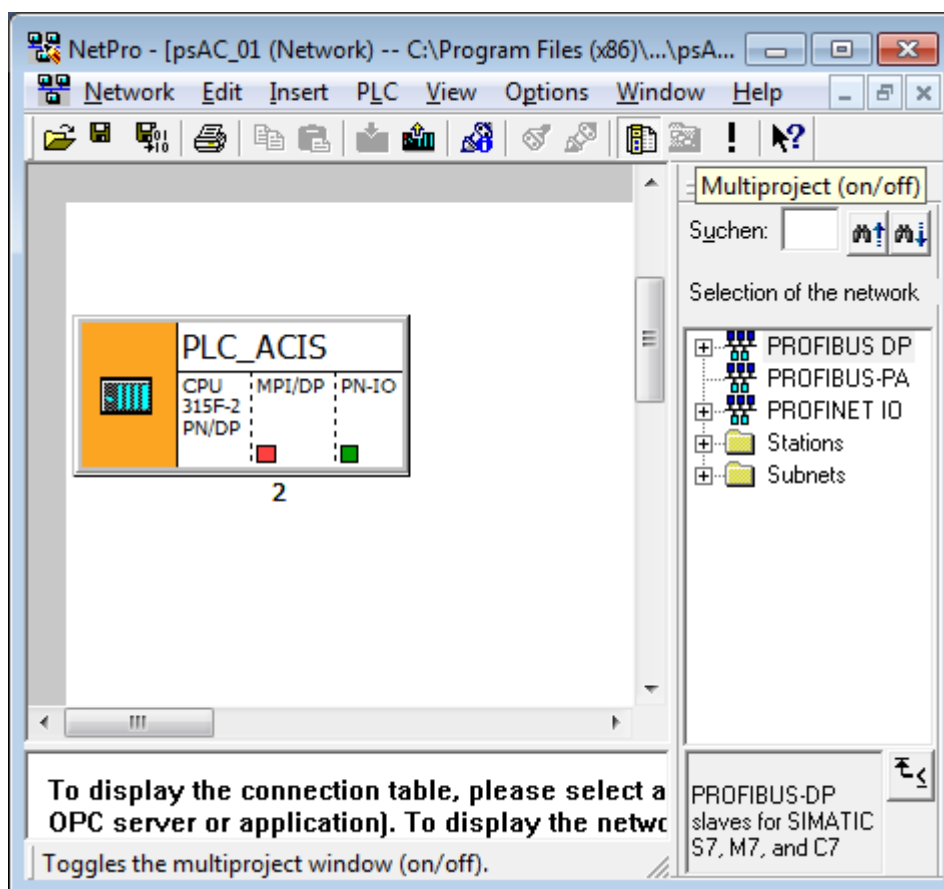
Obsluha programu po navázání spojení s fyzickým PLC nebo emulovaným PLC je shodná. Rozdílné jsou však kroky, které je potřeba provést během přípravy spojení. Proto je čtenář v této podkapitole nejprve seznámen s postupem přípravy spojení s fyzickým PLC a emulovaným PLC.

5.3.1 Příprava spojení s fyzickým PLC

Příprava spojení s fyzickým PLC bude předvedena na PLC Siemens SIMATIC S7-300 s CPU 315F-2 PN/DP (obj. č. 6ES7 315-2FJ14-0AB0). PLC je připojen pomocí průmyslového ethernetu (PROFINET) k routeru, ke kterému je připojeno i PC se simulátorem.

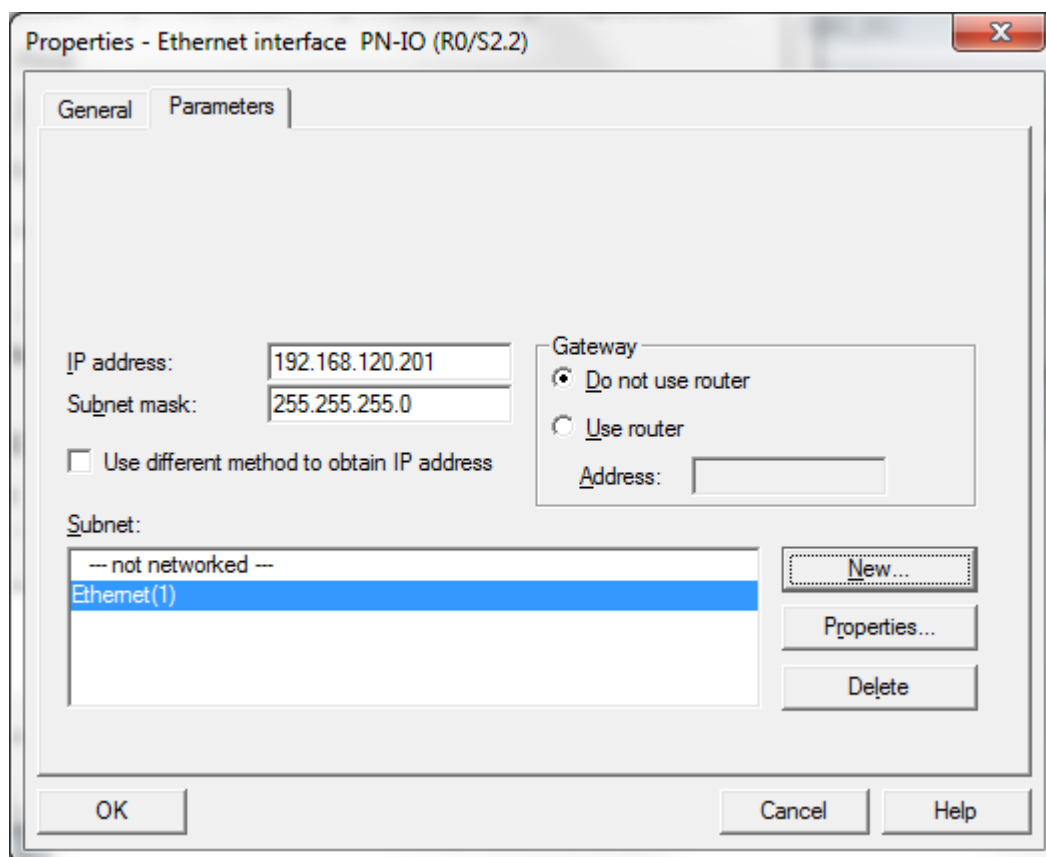
Pro zajištění komunikace mezi PLC a PC není potřeba žádná složitá konfigurace spojení, ale je třeba nastavit IP adresu modulu s porty pro PROFINET, resp. komunikační procesoru. Tato IP adresa nesmí již být na síti obsazena.

Nastavení IP adresy se provádí v programu NetPro, který je součástí programového balíku SIMATIC STEP 7 Professional. Po jeho spuštění se zobrazí okno, které je na Obr. 5.8.



Obr. 5.8 Prostředí NetPro bez konfigurace

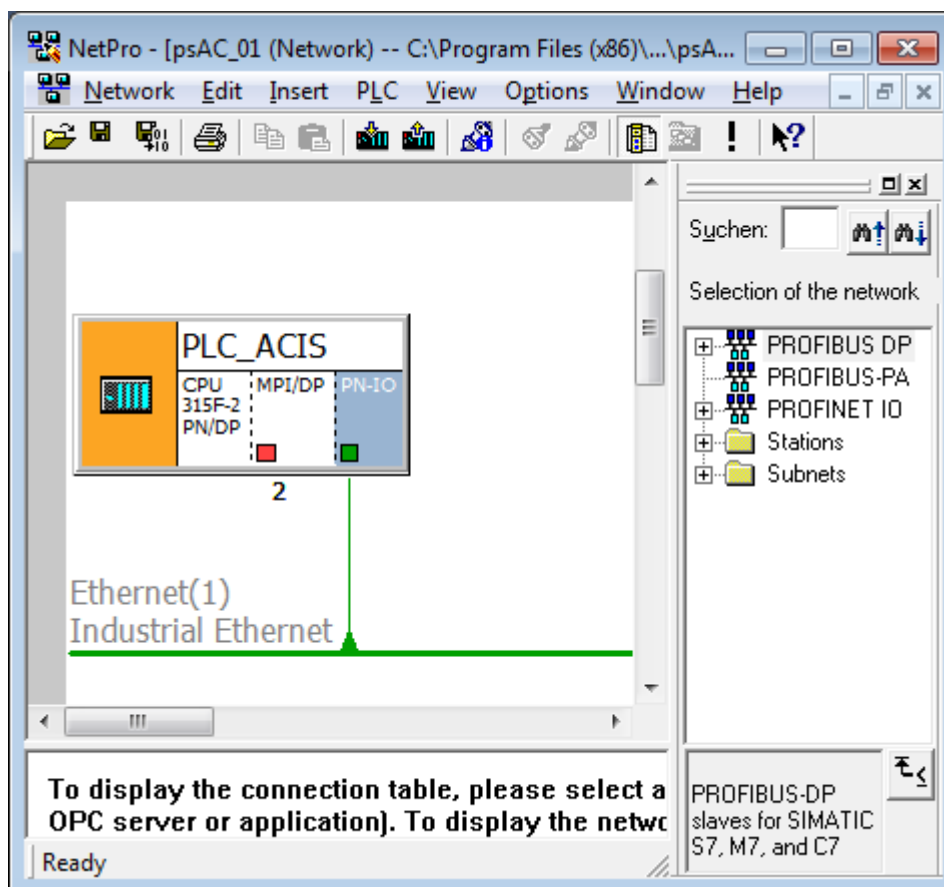
Je zde námi zvolené PLC, a to zatím bez síťové konfigurace. Pro připojení PLC k síti PROFINET a nastavení IP adresy je nutné poklepat na modul „PN-IO“. Otevře se dialogové okno s vlastnostmi modulu. Na záložce „General“ klikneme na „Properties...“ a zobrazí se další dialogové okno pro konfigurace rozhraní ethernet. Zde do textových polí „IP address“ a „Subnet mask“ vložíme zvolenou IP adresu a masku podsítě. Nyní je potřeba vytvořit novou podsít' PROFINET. To provedeme kliknutím na „New...“ a následně v novém dialogovém okně na „OK“. Ukázka vytvořené konfigurace je na Obr. 5.9.



Obr. 5.9 Konfigurace rozhraní ethernet

Nyní můžeme otevřená dialogová okna zavřít kliknutím na „OK“.

Nově vytvořená konfigurace se ihned projeví v prostředí NetPro, jak je vidět na Obr. 5.10. Vytvořenou konfiguraci je potřeba uložit, zkompilevat a nahrát do PLC.



Obr. 5.10 Prostředí NetPro s vytvořenou konfigurací

5.3.2 Příprava spojení s emulovaným PLC

Pro emulaci PLC budeme využívat S7-PLCSim, který ovšem neumožňuje ISO TCP komunikaci s aplikacemi třetích stran. Pro tento účel ale využijeme volně dostupnou aplikaci NetToPLCSim, která právě tuto službu zprostředkovává.

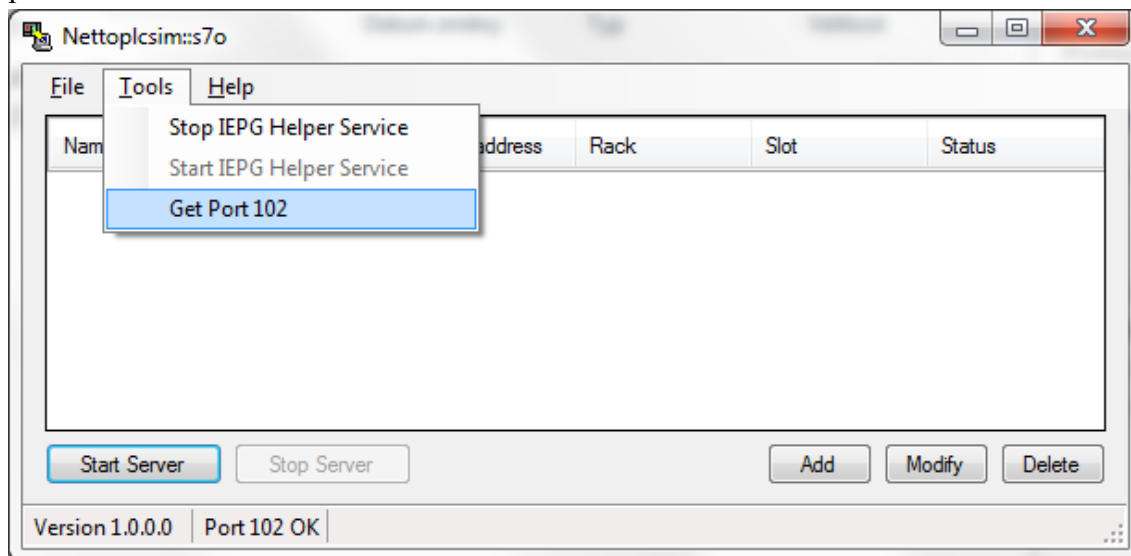
Při přípravě spojení je důležité dodržet posloupnost kroků, která je uvedena zde. Aplikace NetToPLCSim totiž pro komunikaci s S7-PLCSim využívá TCP port 102, který je současně používán vývojovým prostředím SIMATIC STEP 7 Professional a jeho službami při komunikaci s S7-PLCSim. Při nedodržení této posloupnosti může docházet k neočekávanému chování vývojového prostředí.

Nejprve je důležité zajistit, aby od posledního startu Windows nebyl spuštěn SIMATIC Manager, který je součástí zmíněného vývojového prostředí. Jinak je nutné PC restartovat.

Druhým krokem je spuštění aplikace NetToPLCSim jako správce systému. Toto lze provést například kliknutím pravým tlačítkem myši na soubor „NetToPLCSim.exe“ a výběrem „Spustit jako správce“.

Po spuštění aplikace se zobrazí dialogové okno s dotazem, zda si přejeme zastavit službu „s7oiehsx64“, která využívá port 102. Klikneme na volbu „Ano“ / „Yes“. Následně v hlavním okně aplikace klikneme v roletovém menu „Tools“ na položku

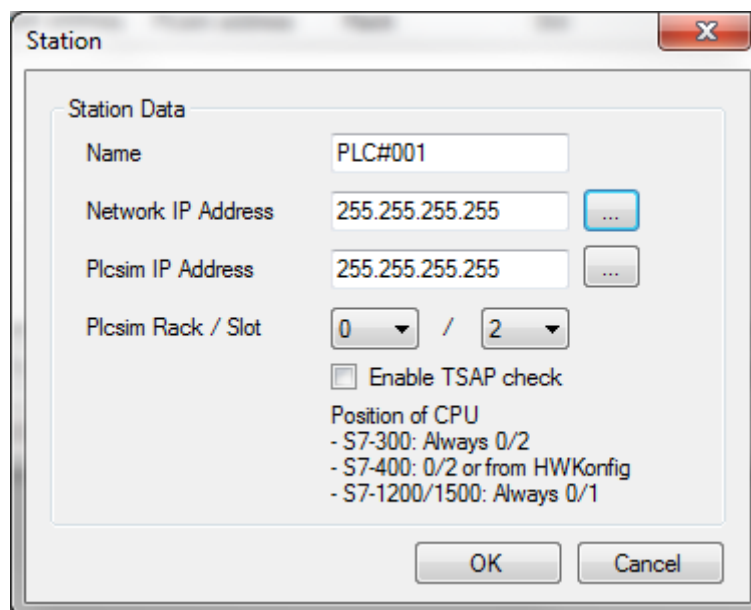
„Get Port 102“ (viz Obr. 5.11). Otevře se nové dialogové okno s potvrzením o získání portu 102. Toto okno můžeme zavřít.



Obr. 5.11 NetToPLCSim získání portu 102

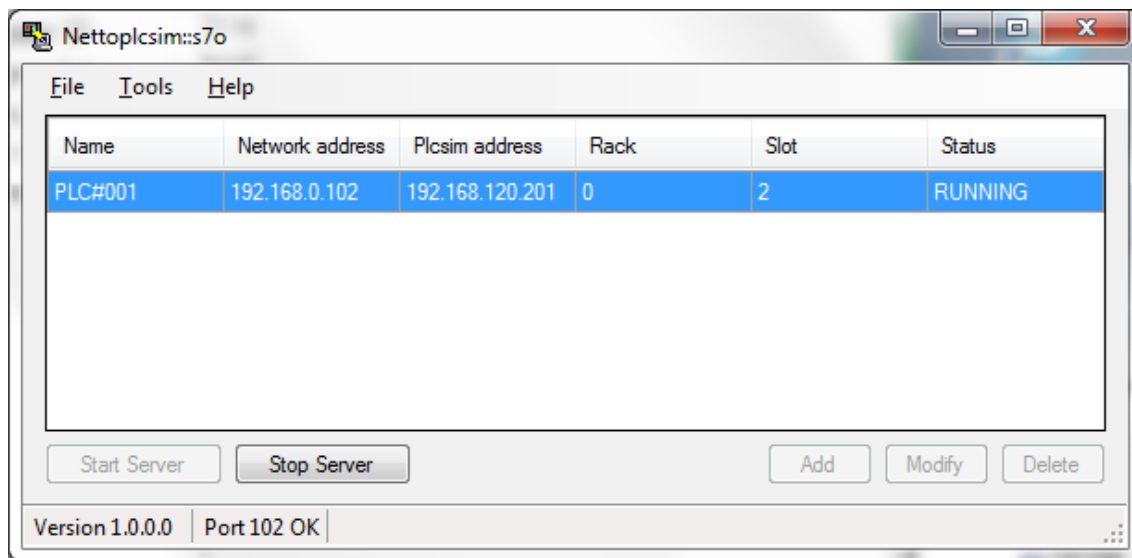
Teprve po těchto krocích lze spustit SIMATIC Manager spolu s S7-PLCSim a nahrát řídicí program do emulovaného PLC.

Po úspěšném nahrání programu do emulovaného PLC je třeba přidat tuto instanci S7-PLCSim do NetToPLCSim. To provedeme kliknutím na tlačítko „Add“ v hlavním okně aplikace. Zobrazí se dialogové okno, které je na Obr. 5.12. Nyní je potřeba doplnit IP adresu, která bude přidělena emulovanému PLC, a PLCSim IP adresu. Obojí lze provést kliknutím na tlačítka vedle těchto adres, čímž získáme seznam dostupných IP adres, resp. využívaných PLCSim adres. Po jejich vybrání stačí kliknout na „OK“ a stanice bude přidána do seznamu v hlavním okně. Pak už jen stačí kliknout na tlačítko „Start Server“.



Obr. 5.12 NetToPLCSim přidání instance S7-PLCSim

Snímek hlavního okna aplikace se správně provedenou konfigurací je na Obr. 5.13. Tato aplikace musí být spuštěna po celou dobu běhu simulátoru.



Obr. 5.13 NetToPLCSim s hotovou konfigurací

5.3.3 Navázání spojení a spuštění simulace

Tato podkapitola uvádí postup navázání spojení mezi PLC a vytvořeným simulátorem v PC a postup pro spuštění simulace. Podrobný popis grafického uživatelského rozhraní je v podkapitole 5.2.1.

Spustitelný soubor vytvořeného simulátoru se nazývá „Simulator.exe“ a je k dispozici na příloženém CD. Po jeho spuštění se zobrazí hlavní okno programu, které je na Obr. 5.3.

Pro navázání spojení je nutné vložit IP adresu fyzického nebo emulovaného PLC do textového pole v levém horním rohu okna a kliknout na tlačítko „Connect“. Po úspěšném navázání spojení se na spodní stavové liště okna zobrazí nápis „Connected“.

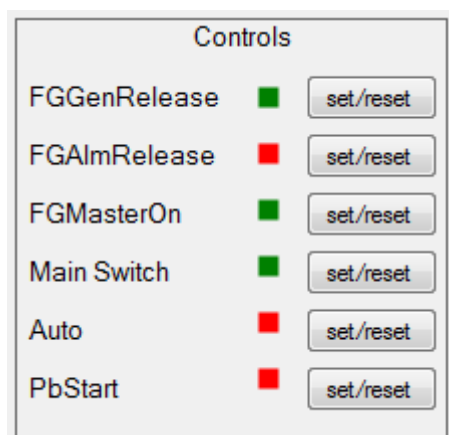
Před spuštěním simulace musí být linka uvedena do automatického režimu. Toto se provádí rovněž v hlavním okně simulátoru v ovládacím panelu „Controls“, který je na Obr. 5.14.

Význam jednotlivých signálů je uveden zde:

- **FGGenRelease** – obecné povolení vyhodnocování u funkční skupiny.
- **FGAlmRelease** – povolení vyhodnocování u funkční skupiny.
- **FGMasterOn** – vypínač funkční skupiny.
- **Main Switch** – hlavní vypínač.
- **Auto** – povolení automatického režimu.
- **PbStart** – spuštění automatického režimu.

Pro uvedení linky do automatického režimu je nutné změnit stav některých signálů na aktivní, a to v uvedeném pořadí. Nejprve je třeba povolit automatický režim

signálem „Auto“, pak povolit vyhodnocování u funkční skupiny signálem „FGAlmRelease“ a nakonec spustit automatický režim signálem „PbStart“.



Obr. 5.14 Ovládací panel „Controls“

Positons	Value	New value	Modify
Position 1	2140	2090	
Position 2	0		
Position 3	0		
Position 4	0		
Position 5	0		
Position 6	0		
Position 7	0		
Position 8	0		
Position 9	0		
Position 10	0		

Obr. 5.15 Ovládací panel pro pozice

Spuštění simulace lze provést kliknutím na tlačítko „Start simulation“. Od této chvíle je aktivní simulace pohybu materiálu po dopravníkové lince a lze měnit pozice materiálu, což se provádí v ovládacím panelu pro pozice v pravém horním rohu hlavního okna, jak je vidět na Obr. 5.15. Pro jednotlivé pozice jsou zde uvedeny aktuální hodnoty a zadáním nové hodnoty do textového pole u každé pozice a kliknutím na tlačítko „Modify“ lze tyto měnit.

Pozice lze zadávat v rozsahu $2000 \div 2500$ dílků. Délka každého dopravníku je 100 dílků a polohový snímač na každém dopravníku je umístěn 10 dílků před koncem dopravníku. Pro obsazení prvního dopravníku a jeho spuštění je tedy vhodné umístit materiál na pozici 2090.

Simulaci pohybu materiálu lze kdykoliv pozastavit kliknutím na tlačítko „Stop simulation“.

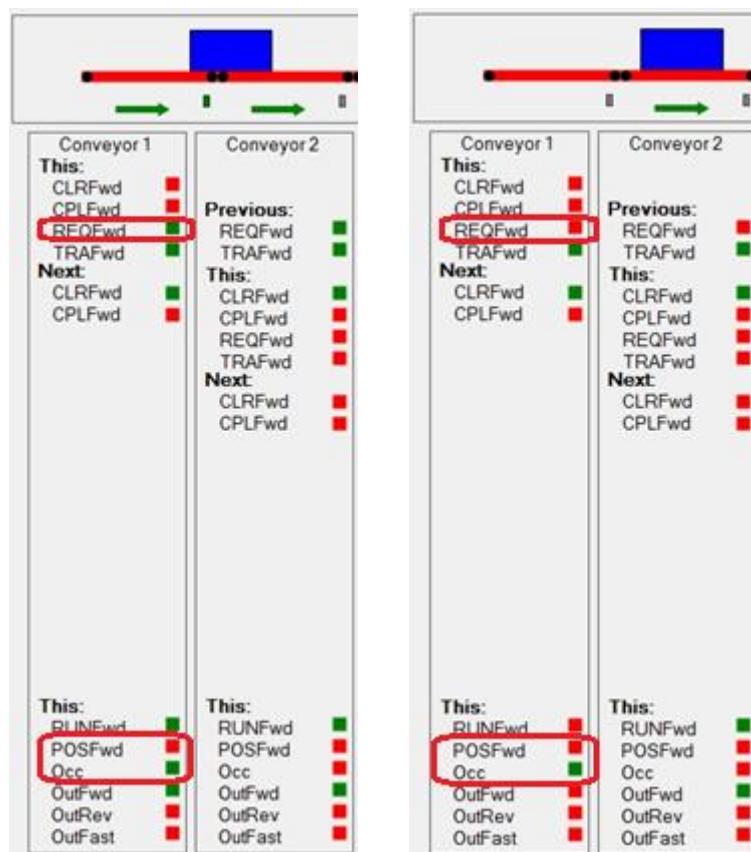
5.4 Ukázka použití

Pro účely demonstrace funkčnosti vytvořeného simulátoru bylo vybráno otestování správnosti algoritmu předávky materiálu bez přerušení při pohybu dopravníků vpřed normální rychlostí pro přepravu materiálu. Simulace bude probíhat s použitím emulovaného PLC v prostředí S7-PLCSim. Testovaný řídicí software pro PLC je k dispozici na příloženém CD.

Použitý postup pro přípravu spojení s emulovaným PLC, navázání spojení a spuštění simulace je uveden v podkapitolách 5.3.2, resp. 5.3.3.

Princip testování bude spočívat ve sledování stavu signálů pro handshake při simulaci pohybu materiálu po dopravníkové lince tvořené řadou pěti dopravníků. Pozastavením simulace v libovolném okamžiku pomocí tlačítka „Stop simulation“ lze kdykoliv porovnat posloupnost signálů pro handshake s popisem logického sledu signálu uvedeném na Obr. 3.2.

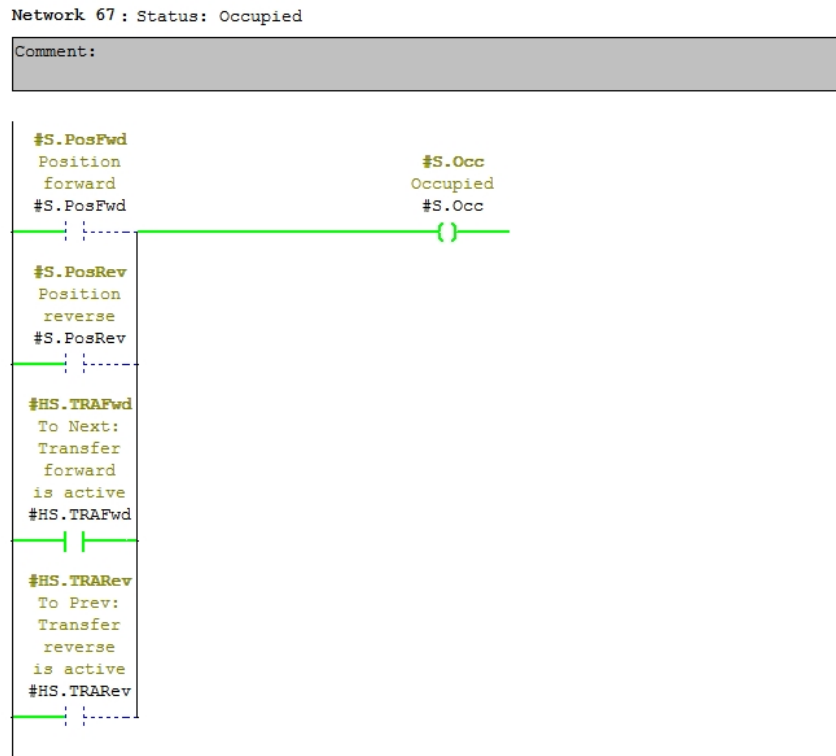
Při testování logického sledu signálů bylo zjištěno, že chování signálu OCC (Occupied) neodpovídá schématu na Obr. 3.2, podle kterého signál OCC přestane být aktivní v okamžiku skončení působení signálů REQ (RequestToTransfer) a POS (Position). Nesprávnost chování dokumentují snímky obrazovek simulátoru na Obr. 5.16 a Obr. 5.17.



Obr. 5.16 Testování předávky, stav 1 Obr. 5.17 Testování předávky, stav 2

Ze snímků je patrné, že signál OCC na dopravníku 1 zůstává nadále aktivní i po skončení působení signálů REQ a POS.

Díky tomuto testování byla tak odhalena logická chyba v řídicím algoritmu pro PLC. Úsek kódu v jazyce LAD, který je zodpovědný za nesprávné chování, je na Obr. 5.18. Podle tohoto kódu byl signál výsledkem logického součtu signálů POS a TRA. Správně by měl být výsledkem logické součtu signálů POS a REQ.



Obr. 5.18 Testování předávky, řídicí algoritmus

5.5 Vyhodnocení výsledků

Vytvořený simulátor dopravníkových linek je určen pro simulace s PLC řady Siemens SIMATIC S7. Simulátor umožňuje simulovat pohyb materiálu a obsazenost snímačů na lince a byl vytvořen pro účely testování řídicího algoritmu PLC pro předávku materiálu, který je součástí vyvíjeného dopravníkového systému zadavatele. Simulaci lze provádět jednak s emulovaným PLC, jednak s fyzickým PLC. Pomocí simulátoru lze linku uvést do libovolného stavu. Simulátor umožňuje podrobné sledování předávky materiálu mezi jednotlivými dopravníky na lince. Vytvořená aplikace také vizualizuje dopravníkovou linku a nabízí informace o stavech jednotlivých dopravníků.

Pro správnou funkčnost simulátoru se předpokládá zachování vytvořeného komunikačního rozhraní. V případě změny struktur uložených informací o lince v PLC je třeba provést drobné programátorské úpravy vytvořené aplikace pro respektování těchto úprav. Úpravy řídicích algoritmů dopravníků v PLC nemají na funkčnost simulátoru vliv.

Vytvořený simulátor nelze použít na obecně kteroukoliv dopravníkovou linku za účelem testování řídicího algoritmu pro danou linku, jak to umožňují komerčně dostupné nástroje jako je třeba SIMIT. Takovéto univerzálnosti vlastního vytvářeného simulátoru lze dosáhnout jen stěží a nejspíše jen se značným omezením jeho funkčnosti.

6 OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

K této diplomové práci je přiloženo CD, na kterém je k dispozici elektronická verze práce ve formátu PDF, spustitelné soubory vytvořeného simulátoru, nástroje nutné pro běh simulátoru a zdrojové kódy vytvořené aplikace.

6.1 Adresářová struktura CD

Na přiloženém CD se nachází tyto adresáře:

- PDF

V tomto adresáři je elektronická verze diplomové práce ve formátu PDF.

- Tools

Obsah tohoto adresáře je rozdělen na dva podadresáře.

- LIBNODAVE

Zde se nachází volně dostupný software LIBNODAVE ve verzi 0.8.5, který simulátor využívá pro komunikaci s PLC. Součástí podadresáře jsou knihovny pro různá prostředí a dokumentace softwaru. V době tvorby této práce byl software k dispozici na této adrese:

<https://sourceforge.net/projects/libnodave/>

- NetToPLCSim

V tomto podadresáři je volně dostupný nástroj NetToPLCSim ve verzi 1.0.0.0, který je nezbytný při komunikaci při simulaci s emulovaným PLC. V době tvorby této práce byl nástroj k dispozici na této adrese:

<https://sourceforge.net/projects/nettoplcsim/>

- Executables

Tento adresář obsahuje spustitelný soubor vytvořeného simulátoru a DLL knihovnu, která je nezbytná pro jeho správný běh.

- Source files

Tento adresář obsahuje kompletní zdrojové kódy vytvořeného simulátoru. Součástí adresáře je projekt, který byl vytvořen v prostředí Microsoft Visual Studio Express 2013.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat prostředí pro simulace dopravníkových výrobních linek se zaměřením na testování řídicího programu PLC SIMATIC S7.

Nejprve byla provedena rešerše dostupných nástrojů na trhu, které by splňovaly požadavky kladené na simulátor, který měl být využit pro testování vyvíjeného dopravníkového systému firmy ice - industrial services. Po dohodě se zadavatelem bylo nakonec přistoupeno k realizaci vlastního programového prostředí simulátoru.

Před realizací byl analyzován řídicí algoritmus PLC se zaměřením na řízení předávky materiálu mezi sousedními dopravníky na dopravníkové lince, které je předmětem testování pomocí realizovaného simulátoru.

Byl představen koncept vytvořeného simulátoru, který bude umožňovat simulaci jednak s emulovaným, jednak s fyzickým PLC. Na základě konceptu byl proveden průzkum nástrojů, které by bylo vhodné využít při vlastní realizaci, a možnosti jednotlivých nástrojů byly podrobně popsány. Nástroje byly vybrány s ohledem použití simulátoru na PLC řady Siemens SIMATIC S7.

Následně bylo přistoupeno k realizaci programového vybavení simulátoru. Bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní programu a vybrány nástroje pro komunikaci mezi PC a fyzickým PLC, resp. emulovaným PLC v PC. Po vytvoření komunikačního rozhraní byl simulátor testován s dodaným řídicím algoritmem PLC od zadavatele. Po doladění vytvořeného programu byla demonstrována jeho funkčnost na testování správnosti algoritmu předávky materiálu s emulovaným PLC. Práce také zahrnuje stručný popis programu, návod k jeho obsluze s fyzickým PLC a emulovaným PLC a ukázky zdrojového kódu programu.

Literatura

- [1] SIMIT Simulation Framework / SIMIT Virtual Controller. Siemens [online]. 2015 [cit. 2015-10-17]. Dostupné z: http://w3.siemens.com/mcms/process-control-systems/en/distributed-control-system-simatic-pcs-7/simulation_training_systems/Pages/Default.aspx?tabcardname=portfolio
- [2] SIMIT - Simulation platform for virtual commissioning. Siemens [online]. 2015 [cit. 2015-10-17]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ca/Catalog/Products/10165864>
- [3] *SIMIT 7: Getting Started* [online]. 2010, 87 s. [cit. 2015-10-17]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/000/73122000/att_51952/v1/SIMIT_Getting_Started_e.pdf
- [4] TECNOMATIX: Úvodní webinář. *Siemens PLM* [online]. 2012 [cit. 2015-10-31]. Dostupné z: <http://siemensplm.adobeconnect.com/p317t1o2e30/>
- [5] Tecnomatix #1: Co je digitální továrna? *Konstrukter.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2012/06/29/tecnomatix-1-co-je-digitalni-tovarna/>
- [6] *Siemens PLM* [online]. 2015 [cit. 2015-11-07]. Dostupné z: <http://www.plm.automation.siemens.com/>
- [7] *SIMATIC: Engineering tools S7ProSim V5.4* [online]. 2011 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/54689638/s7wpscb_en-US.pdf?download=true
- [8] *NetToPLCSim: A Network Interface to PLCSim* [online]. 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://nettoplcsim.sourceforge.net/index.html>
- [9] *NetToPLCSim S7online Version* [online]. 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: http://sourceforge.net/projects/nettoplcsim/files/latest/download?source=typ_redirect
- [10] Access to Allen Bradley and Mitsubishi. *ServiceLab* [online]. 2015 [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: http://www.servicelab.co.uk/servicelab/servicelab.nsf/id/pa_opc_server_e.html
- [11] Siemens communications overview. *Snap7* [online]. 2013 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://snap7.sourceforge.net/>
- [12] ATX - AUTOMOTION S.R.O. *ACIS CS: Popis modulu*. Žďár nad Sázavou, 2009.
- [13] MAŘÍK, Vladimír. *Industrie 4.0: výzvy a hrozby* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/TACRprezentace/prof-mak-industry-4>
- [14] MAŘÍK, Vladimír. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČR. *Národní iniciativa Průmysl 4.0* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument162351.html>

Seznam příloh

Příloha 1. CD